पढ़ें और सीखें योजना

नाभिकीय विकिरणों के अनुप्रयोग

राम चरण मेहरोत्रा

रमा शकर राय

विभागीय सहयोग

राम दुलार शुक्ल

राष्ट्रीय शैक्षिक अनुसंधान और प्रशिक्षण परिषद्

NATIONAL COUNCIL OF EDUCATIONAL RESEARCH AND TRAINING

सितम्बर 1990
आश्विन 1912

P.D. 10 T—SDS

प्रकाशन सहयोग

सी.एन.राव : अध्यक्ष, प्रकाशन विभाग

प्रभाकर द्विवेदी : मुख्य संपादक
आशीष सिन्हा : संपादक
शर्मा दत्त : सहायक संपादक

यू. प्रभाकर राव : मुख्य उत्पादन अधिकारी
डी० साई प्रसाद : उत्पादन अधिकारी
प्रमोद रावत : उत्पादन सहायक

मूल्य : रु० 8.00

प्रकाशन विभाग में सचिव, राष्ट्रीय शैक्षिक अनुसंधान और प्रशिक्षण परिषद्, श्री अरविंद मार्ग, नई दिल्ली 110016 द्वारा प्रकाशित तथा एन.के. एन्टरप्राइजेज़ 4782/2-23 दरिया गंज, नई दिल्ली 110002 द्वारा मुद्रित।

प्राक्कथन

विद्यालय शिक्षा के सभी स्तरों के लिए अच्छे शिक्षाक्रम, पाठ्यक्रमों और पाठ्यपुस्तकों के निर्माण की दिशा में हमारी परिषद् पिछले पच्चीस वर्षों से कार्य कर रही है। हमारे कार्य का प्रभाव भारत के सभी राज्यों और संघशासित प्रदेशों में प्रत्यक्ष और अप्रत्यक्ष रूप से पड़ा है और इस पर परिषद् के कार्यकर्ता संतोष का अनुभव कर सकते हैं।

किंतु हमने देखा है कि अच्छे पाठ्यक्रम और अच्छी पाठ्यपुस्तकों के बावजूद हमारे विद्यार्थियों की रुचि स्वतः पढ़ने की ओर अधिक नहीं बढ़ती। इसका एक मुख्य कारण अवश्य ही हमारी दूषित परीक्षा-प्रणाली है जिसमें पाठ्यपुस्तकों में दिए गए ज्ञान की ही परीक्षा ली जाती है। इस कारण बहुत ही कम विद्यालयों में कोर्स के बाहर की पुस्तकों को पढ़ने के लिए प्रोत्साहन दिया जाता है। लेकिन अतिरिक्त पठन में बच्चों की रुचि न होने का एक बड़ा कारण यह भी है कि विभिन्न आयुवर्ग के बच्चों के लिए कम मूल्य की अच्छी पुस्तकें पर्याप्त मात्रा में उपलब्ध भी नहीं हैं। यद्यपि पिछले कुछ वर्षों में इस कमी को पूरा करने के लिए कुछ काम प्रारंभ हुआ है पर वह बहुत ही नाकाफ़ी है।

इस दृष्टि से परिषद् ने बच्चों की पुस्तकों के लेखन की दिशा में एक महत्वाकांक्षी योजना प्रारंभ की है। इसके अंतर्गत "पढ़ें और सीखें" शीर्षक से एक पुस्तकमाला तैयार करने का विचार है जिसमें विभिन्न आयुवर्ग के बच्चों के लिए सरल भाषा और रोचक शैली में अनेक विषयों पर बड़ी संख्या में पुस्तकें तैयार की जाएँगी। हम आशा करते हैं कि बहुत शीघ्र ही हिन्दी में हम निम्नलिखित विषयों पर 50 पुस्तकें प्रकाशित कर सकेंगे।

(क) शिशुओं के लिए पुस्तकें
(ख) कथा साहित्य
(ग) जीवनियाँ
(घ) देश-विदेश परिचय
(ङ) सांस्कृतिक विषय
(च) वैज्ञानिक विषय
(छ) सामाजिक विज्ञान के विषय

इन पुस्तकों के निर्माण में हम प्रसिद्ध लेखकों, वैज्ञानिकों, अनुभवी अध्यापकों और योग्य कलाकारों का सहयोग ले रहे हैं। प्रत्येक पुस्तक के प्रारूप पर भाषा, शैली और विषय-विवेचन की दृष्टि से सामूहिक विचार करके उसे अंतिम रूप दिया जाता है।

परिषद् इस माला की पुस्तकों को लागत मूल्य पर ही प्रकाशित कर रही है ताकि ये देश के हर कोने में पहुँच सकें। भविष्य में इन पुस्तकों को अन्य भारतीय भाषाओं में अनुवाद कराने की भी योजना है।

हम आशा करते हैं कि शिक्षाक्रम, पाठ्यक्रम और पाठ्यपुस्तकों के क्षेत्र में किए गए कार्य की भाँति ही परिषद् की इस योजना का भी व्यापक स्वागत होगा।

प्रस्तुत पुस्तक 'नाभिकीय विकिरण के अनुप्रयोग' के लेखन के लिए प्रो. रामचरण मेहरोत्रा तथा प्रो. रमाशंकर राय ने हमारा निमंत्रण स्वीकार किया जिसके लिए हम उनके अत्यंत आभारी हैं। जिन-जिन विद्वानों, अध्यापकों और कलाकारों से इस पुस्तक को अंतिम रूप देने में हमें सहयोग मिला है उनके प्रति मैं कृतज्ञता ज्ञापित करता हूँ।

हिन्दी में "पढ़ें और सीखें" पुस्तकमाला की यह योजना प्रो. अनिल विद्यालंकार (अवकाश प्राप्त) के मार्गदर्शन में चल रही थी। अब प्रो अर्जुनदेव इसे देख रहे हैं। उनके सहयोगियों में श्रीमती संयुक्ता लूदरा, डा. रामजन्म शर्मा, डा. सुरेश पांडेय, डा. हीरालाल बाछोतिया और डा. अनिरुद्ध राय सक्रिय सहयोग दे रहे हैं।

इस योजना में विज्ञान की पुस्तकों के लेखन का मार्गदर्शन दिल्ली विश्वविद्यालय के भूतपूर्व कुलपति और राजस्थान विश्वविद्यालय में वर्तमान प्रोफेसर-एमेरिटस प्रो. रामचरण मेहरोत्रा कर रहे हैं। विज्ञान की पुस्तकों के लेखन के संयोजन और अंतिम संपादन आदि का दायित्व हमारे विज्ञान एवं गणित शिक्षा विभाग के प्रो. राम दुलार शुक्ल वहन कर रहे हैं।

मैं प्रो. रामचरण मेहरोत्रा को और अपने सभी सहयोगियों को हार्दिक धन्यवाद और बधाई देता हूँ।

इन पुस्तकों को इतने अच्छे ढंग से प्रकाशित करने के लिए मैं परिषद् के प्रकाशन विभाग के कार्यकर्ताओं, विशेषकर विभागाध्यक्ष श्री सी. एन. राव और मुख्य संपादक श्री प्रभाकर द्विवेदी को हार्दिक धन्यवाद देता हूँ।

इस माला की पुस्तकों पर बच्चों, अध्यापकों और बच्चों के माता-पिता की प्रतिक्रिया का हम स्वागत करेंगे ताकि इन पुस्तकों को और भी उपयोगी बनाने में हमें सहयोग मिल सके।

के. गोपालन
निदेशक
राष्ट्रीय शैक्षिक अनुसंधान और प्रशिक्षण परिषद्

नई दिल्ली

लेखक परिचय

प्रो. राम चरण मेहरोत्रा

देश के अग्रणी वैज्ञानिकों में से एक, दिल्ली विश्वविद्यालय के भूतपूर्व उपकुलपति, अंतर्राष्ट्रीय ख्यातिप्राप्त रसायनज्ञ, भटनागर पुरस्कार तथा फिक्की एवार्ड से विभूषित। 40-50 वर्षों से विज्ञान को सामान्यजनों तक सहज सरल भाषा में पहुँचाने में संलग्न। वैज्ञानिक और औद्योगिक अनुसंधान परिषद् द्वारा प्रकाशित 'विज्ञान प्रगति' के उत्थान में अत्यंत महत्त्वपूर्ण योगदान देने वाले। इन सेवाओं के लिए उत्तर प्रदेश की हिन्दी समिति द्वारा 1985 में सर्वोच्च विज्ञान लेखन पुरस्कार से सम्मानित। सन् 1989 में केन्द्रीय हिन्दी संस्थान द्वारा आत्माराम पुरस्कार से विभूषित। राजस्थान ग्रन्थ अकादमी के संस्थापकों में से एक। लगभग 15 वर्षों से अकादमी के माध्यम से 'रसायन समीक्षा' का सम्पादन।

प्रो. रमा शंकर राय

भौतिक तथा नाभिकीय रसायन विभाग के जाने-माने विद्वान। बिड़ला इंस्टीट्यूट ऑफ टेक्नोलॉजी एण्ड साइंस के रसायन विभाग के भूतपूर्व अध्यक्ष। आज भी वहीं पठन-पाठन और अनुसंधान कार्य में संलग्न। अमरीका के प्रसिद्ध विश्वविद्यालयों में नाभिकीय रसायन पर अनुसंधान कार्य। विज्ञान के जटिलतम तथ्यों को सरल भाषा में समझाने की अनूठी क्षमता।

दो शब्द

राष्ट्रीय शैक्षिक अनुसंधान और प्रशिक्षण परिषद् (एन. सी.ई. आर. टी.) की "पढ़ें और सीखें" योजना के अंतर्गत यह एक छोटा सा प्रयास है। जब परिषद् के भूतपूर्व निदेशक डा. पी.एल. मल्होत्रा ने मुझे इस दिशा में विज्ञान के विषयों का कार्यभार संभालने के लिए आमंत्रित किया था तो अपने वैज्ञानिक मित्रों की अतिव्यस्तता के कारण यह उत्तरदायित्व स्वीकार करने में मुझे संकोच था।

इस दिशा में मेरा प्रयास रहा है कि विज्ञान के विभिन्न विषयों के जाने-माने विद्वानों को इस सराहनीय कार्य के लिए आकर्षित कर सकूँ क्योंकि खोज और अनुसंधान की आनंदपूर्ण अनुभूतियों वाले वैज्ञानिक ही अपने आनंद की एक झलक बच्चों तक पहुँचा सकते हैं। मैं उनका हृदय से आभारी हूँ कि उन्होंने अंकुरित होने वाली पीढ़ी के लिए अपने बहुमूल्य समय में से कुछ क्षण निकालने का प्रयास किया। कहते तो हम सब हैं कि बालक राष्ट्र की सबसे बहुमूल्य और महत्वपूर्ण निधि है परंतु उनके लिए समय निकालना बड़ों के लिए अक्सर संभव नहीं हो पाता है। मेरे लिए यह किंचित आश्चर्य और अधिक संतोष का अनुभव रहा है कि हमारे इतने लब्धप्रतिष्ठ और अत्यंत व्यस्त वैज्ञानिक बच्चों के लिए ऐसा परिश्रम करने के लिए सहर्ष मान गए हैं। मैं सभी वैज्ञानिक मित्रों के लिए हृदय से आभारी हूँ।

इन पुस्तकों की तैयारी में हमारा मुख्य ध्येय रहा है कि विषय ऐसी शैली में प्रस्तुत किया जाए कि बच्चे स्वयं इसकी ओर आकर्षित हों, साथ ही भाषा इतनी सरल हो कि बच्चों को इनके अध्ययन द्वारा विज्ञान के गूढ़तम रहस्यों को समझने में कोई कठिनाई न हो। इन पुस्तकों के पढ़ने से उनमें अधिक पढ़ने की रुचि पैदा हो, उनके नैसर्गिक कौतूहल में वृद्धि हो जिससे उसके समाधान के लिए स्वप्रयत्न उनके जीवन का एक अंग बन जाए।

यह योजना एन. सी. आर. टी. के वर्तमान निदेशक डा० के. गोपालन की प्रेरणा से प्रगति कर रही है। मैं उन्हें इसके लिए बधाई और धन्यवाद देता हूँ।।

परिषद् के विज्ञान एवं गणित शिक्षा विभाग के प्रो. राम दुलार शुक्ल विज्ञान की पुस्तकों के

लेखन से संबंधित योजना के संयोजक हैं और बहुत परिश्रम और कुशलता से अपना कार्य कर रहे हैं। प्रो.अनिल विद्यालंकार (अवकाश प्राप्त) ''पढ़ें और सीखें'' संपूर्ण योजना के संचालक रहे। मैं इन दोनों को हृदय से धन्यवाद देता हूँ।

आशा है कि ऐसी पुस्तकों से हमारी नई पीढ़ी के बाल्यकाल ही में वैज्ञानिक मानसिकता का शुभारंभ हो सकेगा और विज्ञान के नवीनतम ज्ञान के साथ ही साथ उन्हें अपने देश की प्रगतियों एवं वैज्ञानिकों के कार्य की झलक मिल सकेगी जिससे उनमें अपने राष्ट्र के प्रति गौरव की भावना का भी सृजन होगा।

राम चरण मेहरोत्रा
अध्यक्ष
''पढ़ें और सीखें योजना''
(विज्ञान)

विषय सूची

गांधी जी का जन्तर

तुम्हें एक जन्तर देता हूं। जब भी तुम्हें सन्देह हो या तुम्हारा अहम् तुम पर हावी होने लगे, तो यह कसौटी आजमाओ :

जो सबसे गरीब और कमजोर आदमी तुमने देखा हो, उसकी शकल याद करो और अपने दिल से पूछो कि जो कदम उठाने का तुम विचार कर रहे हो, वह उस आदमी के लिए कितना उपयोगी होगा। क्या उससे उसे कुछ लाभ पहुंचेगा? क्या उससे वह अपने ही जीवन और भाग्य पर कुछ काबू रख सकेगा? यानि क्या उससे उन करोड़ों लोगों को स्वराज्य मिल सकेगा जिनके पेट भूखे हैं और आत्मा अतृप्त है?

तब तुम देखोगे कि तुम्हारा सन्देह मिट रहा है और अहम् समाप्त होता जा रहा है।

1

विषय प्रवेश

प्रत्येक तत्व के परमाणुओं के नाभिकों में प्रोटॉनों की एक निश्चित संख्या होती है, परन्तु न्यूट्रॉनों की संख्या भिन्न-भिन्न हो सकती है। इसलिए तत्वों के परमाणुओं में असमानता पाई जाती है। किसी तत्व के विभिन्न भार वाले परमाणुओं को समस्थानिक कहते हैं। समस्थानिकों की रासायनिक अभिक्रियाएं लगभग एक सी होती हैं। साधारण तौर पर उनकी पहचान कठिन है। इनकी पहचान करने के सिद्धांत को नीचे दिए उदाहरण से समझा जा सकता है।

जब साईबेरिया में ठंडा मौसम प्रारम्भ होता है तब वहां से अनेक पक्षी भारत चले आते हैं और भारत में ग्रीष्म ऋतु के प्रारम्भ होते ही ये पक्षी साइबेरिया लौट जाते हैं। आव्रजन करने वाले इन पक्षियों का पता लगाने के लिए उन्हें छल्ले पहना दिये जाते हैं जिससे उन्हें पहचाना जा सके। भेड़ों का पता लगाने के लिए उनके गले में घंटियां बांध दी जाती हैं। इन घंटियों की ध्वनि से भेड़ों के स्थान का पता लगाया जाता है। इसी प्रकार समस्थानिकों के समूह में से रेडियोऐक्टिव समस्थानिकों का निश्चय उनसे निकलने वाले विकिरण से उत्पन्न विद्युतीय संकेतों द्वारा किया जाता है। ये संकेत विकिरणमापी यंत्रों द्वारा उपलब्ध होते हैं। ये यंत्र विशेष प्रकार के संकेत देते हैं जिन्हें विद्युतीय स्पंद (Pulse) कहते हैं और इन संकेतों से रेडियोऐक्टिव समस्थानिकों की सम्पूर्ण गतिविधियों का पता लगा लिया जाता है।

आजकल खनिज ईंधनों जैसे मिट्टी का तेल, पेट्रोल, डीजल, कोयले का इतनी अधिक मात्रा में उपयोग हो रहा है कि निश्चित ही किसी न किसी दिन ऊर्जा का यह भंडार समाप्त हो जायेगा और मनुष्य जाति को महान ऊर्जा संकट का सामना करना पड़ेगा। इस निराशाजनक स्थिति में थोरियम, यूरेनियम और प्लूटोनियम के कतिपय समस्थानिकों की नाभिकीय विखंडन और नाभिकीय संगलन अभिक्रियाओं द्वारा उत्पन्न ऊर्जा का विशाल भंडार मानव जाति में आशा का संचार करता है।

औषधियां मनुष्य के शरीर में किस प्रकार कार्य करती हैं? पेड़, पौधे धरती से किस प्रकार अपना भोजन लेते हैं? तीव्रगति से चलने वाली मशीनों में क्षय और घर्षण किस गति से होता है? ये सब बातें कुछ समय पहले तक कुतूहल और जिज्ञासा का विषय बनी हुई थीं। जल प्रदाय विभाग द्वारा धरती के अन्दर बिछाई गई पाइपों में यदि किसी स्थान पर छेद हो जाय अथवा दरारें पड़ जायें तो उसका पता लगाने के लिए दूर दूर तक खोदना पड़ेगा। वेल्डिंग करके बनाई गई मशीनों में अनेक स्थानों पर द्रव्य का वितरण एक सा न होने के कारण मशीन में अदृश्य दोष उत्पन्न हो जायेगा और चलते समय मशीन टूटने की सम्भावना बनी रहेगी। कृषि, जीव विज्ञान, उद्योग धंधों और वैज्ञानिक तथा तकनीकी अनुसंधानों में अनेक तथ्यों का पता प्रत्यक्ष रूप से नहीं लग पाता है, परन्तु आजकल ऊपर बताई गई समस्याओं का समाधान रेडियोऐक्टिव समस्थानिकों द्वारा अत्यन्त सरलता से होने लगा है। हमारी पृथ्वी तथा इसमें पाई जाने वाली चट्टानों, खनिज पदार्थों, हजारों वर्ष प्राचीन कार्बनिक पिन्डों और आकाशीय पिन्डों का काल निर्धारण करने के लिए रेडियोधर्मिता का उपयोग अत्यन्त सरल और विश्वसनीय सिद्ध हुआ है। यही कारण है कि आज विश्व भर में रेडियोऐक्टिव समस्थानिकों का उत्पादन और विक्रय तीव्र गति से बढ़ता जा रहा है।

रेडियोऐक्टिव समस्थानिकों का उपयोग धरती, उल्का पिन्डों, जीवाश्मों तथा कार्बनिक पदार्थों की आयु निर्धारित करने में होता है। सूक्ष्ममणी अनुप्रयोग (Tracer Technique) द्वारा रासायनिक तथा तकनीकी अनुसंधान औषधि तथा कृषि विज्ञान में अनुप्रयोग और प्राकृतिक साधनों की खोज होती है। नाभिकीय विकिरण के उपयोग अनेक क्षेत्रों में होते हैं। आजकल विद्युत उत्पादन भी समस्थानिकों के विखंडन से होने लगा है। इन उपयोगों का एक-एक करके विस्तृत विवरण प्रस्तुत किया जायेगा। उक्त विषय का वर्णन करने के पूर्व हम अपने पाठकों को इलेक्ट्रान, प्रोटॉन, परमाणु नाभिक, न्यूट्रान, नाभिकीय विकिरण तथा रेडियोधर्मिता के विषय में संक्षिप्त जानकारी देने का प्रयास करेंगे, जिससे इस विषय को जानने और समझने में सुविधा हो।

परमाणु कण

इलेक्ट्रॉन (Electron)

उन्नीसवीं शताब्दी के अन्त में इंगलैंड की केवेंडिश प्रयोगशाला के निदेशक सर जे०जे० थामसन (J.J. THOMSON) ने विरल दाब पर विद्युत विसर्ग प्रवाहित करके यह देखा कि कैथोड से निकलने वाली कैथोड किरणें इलेक्ट्रॉनों की बनी हैं। अपने प्रयोगों द्वारा वह इस निष्कर्ष पर पहुंचे कि समस्त तत्वों में बहुत हल्के और ऋण-विद्युताविष्ट कण उपस्थित हैं। एम्बर (AMBER) नामक पदार्थ से बनी हुई छड़ों पर घर्षण द्वारा विद्युत आवेश उत्पन्न होता है। यूनानी भाषा में एम्बर को इलेक्ट्रॉन कहते हैं, अतएव इन कणों का नाम इलेक्ट्रॉन रखा गया। इन कणों पर ऋणावेश होता है और इनका भार हाइड्रोजन के भार का लगभग 1/1864 वां भाग होता है। इलेक्ट्रॉनों को हम अपनी आंखों से नहीं देख सकते, परन्तु प्रतिदीप्तशील पटल पर इनके पद चिन्हों को देखा जा सकता है। फोटोग्राफी की प्लेटों पर इनके चिन्ह दृष्टिगोचर होते हैं और गाइगर मूलर गणित्रों में विसर्जनों को भी प्रदर्शित करते हैं। इलेक्टॉन का भार 9.11×10^{-28} ग्राम होता है और इनपर ऋणावेश 1.602×10^{-19} कूलाम्ब के बराबर होता है।

इलेक्ट्रानों और रेडियोएक्टिव पदार्थों से निकलने वाले बीटा कणों में एक रूपता पाई जाती है। इलेक्ट्रॉन किसी भी परमाणु की मूल इकाइयों में से एक है। इलेक्ट्रानों पर ऋणावेश होता है, अतएव परमाणुओं में कोई ऐसा कण होना चाहिए जिसपर धनावेश हो, ताकि मूलरूप में परमाणुओं पर किसी भी आवेश की अधिकता न पाई जा सके। इसे ज्ञात करने के लिए जो प्रयास किए गए वे इस प्रकार हैं।

परमाणु नाभिक (Nucleus) और प्रोटॉन

इलेक्ट्रॉन के आविष्कर्ता सर जे० जे० थामसन के पास अध्ययन के लिए न्यूजीलैंड से एक अत्यन्त मेधावी छात्र आया और उसने परमाणु की संरचना पर अपना अध्ययन प्रारम्भ किया। उस छात्र का नाम था अरनेस्ट रदर फोर्ड (Earnest Rutherford) । उस समय परमाणु नाभिक के विषय में कुछ भी पता नहीं था। यदि हीलियम गैस के परमाणु में से दो इलेक्ट्रॉन निकाल दिए जाएं तो इसे एल्फा कण कहा जाता है। रदरफोर्ड ने इन एल्फा कणों द्वारा एक स्वर्ण पर्णिका पर प्रहार किया और यह देखा कि अधिकांश एल्फा कण प्रायः अपने मार्ग से विचलित हुए

बिना आगे बढ़ जाते हैं परन्तु कुछ कणों के मार्ग में थोड़ा सा विचलन हो जाता है और यह भी देखा कि कुछ एल्फा कण उसी दिशा में परावर्तित होकर लौट आते रदरफोर्ड के इस प्रयोग को इस प्रकार समझाया जा सकता है। मान लीजिए हम किसी मैदान में खड़े हैं जिसमें केवल एक वस्तु किसी स्थान पर स्थित है। हमारे पास एक बन्दूक तथा कुछ गोलियां है और हमें वस्तु का पता लगाना है। उस समय बिल्कुल अंधेरा है और वह चीज़ दिखाई नहीं पड़ रही है। बन्दूक चलाने पर अधिकतर गोलियां मैदान में सीधी निकल जाती हैं। परन्तु यह देखा गया कि कुछ गोलियां पदार्थ से टकराकर हमारे पास वापस आती हैं। इससे यह निष्कर्ष निकाला गया कि मैदान में सारी जगह रिक्त है और केवल वह पदार्थ थोड़ी सी जगह में है, जिससे टकराकर बन्दूक की गोलियां वापस आ जाती हैं।

रदरफोर्ड के इस प्रयोग में बन्दूक की यह गोलियां ऊर्जावान एल्फाकण हैं, जिनमें से अधिकतर अपने पथ में सीधे चले जाते हैं और थोड़े से एल्फाकण नाभिक से (Nucleus) टकराकर लौट आते हैं। इससे यह निष्कर्ष निकाला गया कि परमाणु के भीतर नाभिक केवल थोड़े से स्थान पर स्थित हैं और परमाणु का अधिकांश खाली पड़ा हुआ है। एल्फा कणों पर धनावेश होता है अतएव ये कण तभी परावर्तित हुए होंगे जब उनके मार्ग में अन्य धनावेश वाले कण उपस्थित होंगे। सन् 1911 में रदरफोर्ड ने एल्फा कणों की विचलन की मात्रा से यह अनुमान लगाया कि नाभिक का समस्त धनावेश 10^{-13} से० मी० व्यास के ठोस पिन्ड में स्थित है। यदि परमाणुओं का व्यास लगभग 10^{-8} से० मी० मान लिया जाये तो परमाणुओं का खोखलापन स्पष्ट हो जाता है। यदि एक परमाणु के बाह्य आकार को एक ऐसे बड़े कक्ष के बराबर मान लिया जाए, जिसकी लम्बाई, चौड़ाई, ऊँचाई दस-दस मीटर हो तो उसके नाभिक का परिमाण लगभग एक मि० मी० के दशमांश के बराबर होगा।

इस प्रयोग के बाद रदरफोर्ड इस निष्कर्ष पर पहुंचे कि परमाणु नाभिक एक धनाविष्ट पिन्ड होता है। परमाणु विद्युतीय दृष्टिकोण से शिथिल होते हैं अतएव केन्द्र पर धनावेश की मात्रा के बराबर संख्या में इलेक्ट्रान भी नाभिक के आसपास अवश्य होंगे। यदि ये इलेक्ट्रॉन स्थिर होते तो धनाविष्ट नाभिक की ओर आकर्षित होकर उससे मिल जाते। अतः यह कल्पना की गई कि इलेक्ट्रॉन नाभिक के चारों ओर चक्कर लगाया करते हैं। इसकी पुष्टि नील्स-बोर (Niels Bohr) नामक वैज्ञानिक ने की। गणनाओं से यह ज्ञात हुआ कि परमाणु का व्यास लगभग 10^{-8} से० मी० तथा इलेक्ट्रॉन की गति लगभग 2×10^{8} से० मी० प्रति सेकन्ड है।

सन् 1913 में बोर ने यह बतलाया कि इलेक्ट्रॉन सतत रूप से ऊर्जा शोषित या क्षेपित नहीं

करते। जब इलेक्ट्रॉन कुछ विशिष्ट व्यास वाली कक्षों में केन्द्र के चारों ओर परिक्रमा करते हैं तो इस अवस्था में उनसे ऊर्जा का शोषण या क्षेपण नहीं होता। इन कक्षों को विकिरण रहित (Radiationless) कहा गया है। इनमें से प्रत्येक कक्ष के लिए एक विशेष ऊर्जा तल होता है। और जब इलेक्ट्रॉन एक विकिरण रहित कक्ष से किसी अन्य कक्ष को जाते हैं तो इन दोनों कक्षों की ऊर्जा के अन्तर के बराबर ऊर्जा का क्षेपण या शोषण होता है। इस प्रकार रदर फोर्ड तथा बोर द्वारा कल्पित परमाणु की तुलना सौर मंडल से की जा सकती है। इस प्रकार नाभिक के चारों ओर निश्चित कक्षाओं में इलेक्ट्रॉन घूमते हैं। किसी कक्ष में घूमने वाले इलेक्ट्रॉनों की अधिकतम संख्या को $2n^2$ से प्रदर्शित किया जाता है। इसमें कक्षा की संख्या को n से प्रदर्शित करते हैं। परमाणुओं के नाभिक पर जो धनावेश होता है उसी के बराबर संख्या के इलेक्ट्रॉन नाभिक के चारों ओर परिक्रमा करते हैं। सबसे हल्के तत्व हाइड्रोजन के केन्द्र पर एक आवेश होता है और इस तत्व का परमाणु भार भी लगभग एक इकाई के बराबर है। अतएव प्रथम तत्व हाइड्रोजन के नाभिक (धनावेश) को प्रोटॉन का नाम दिया गया। यूनानी भाषा में प्रोटॉन शब्द का अर्थ है प्रथम और आवर्त सारणी में हाइड्रोजन प्रथम स्थान पर है अतएव इस तत्व के नाभिक को प्रोटॉन कहा गया। इसका भार 1.675×10^{-24} ग्राम और आवेश इलेक्ट्रॉन के बराबर है।

न्यूट्रान (Neutron)

सन् 1920 में इंगलैण्ड की रायल सोसाइटी में एक भाषण देते हुए रदर फोर्ड ने कहा था कि परमाणु-नाभिक के भीतर आवेश रहित और प्रोटॉन के बराबर भार वाला कण भी उपलब्ध हो सकता है। कैम्ब्रिज विश्वविद्यालय में रदर फोर्ड के साथ कार्य करते हुए सर जेम्स चाडविक (James Chadwick) ने 1932 में यह देखा कि जब एल्फा कणों से बेरिलियम पर प्रहार किया जाता है तो कुछ ऐसे कण निकलते हैं जिनपर किसी भी प्रकार का विद्युत आवेश नहीं होता और इनका भार प्रोटॉन के बराबर होता है। इसे न्यूट्रॉन कहा गया। इसका भार 1.6747×10^{-24} ग्राम और व्यास 1.5×10^{-13} से० मी० होता है। इन कणों पर चुम्बकीय या विद्युतीय क्षेत्र का कोई भी प्रभाव नहीं पड़ता।

विल्सन क्लाउड कोष्ठ में भी इनका मार्ग दिखलाई नहीं पड़ता। जब न्यूट्रॉन धनावेशित नाभिकों से टकराते हैं तो अपनी ऊर्जा उन्हें दे देते हैं। गमन करते समय ऊर्जा प्राप्य नाभिक परमाणुओं को आयनित कर देते हैं और विल्सन क्लाउड कोष्ठ में इनका मार्ग दिखलाई पड़ने

लगता है। न्यूट्रॉनों की विशेषता यह होती है कि उनपर कोई आवेश नहीं होता। इसका क्षय होता है और क्षय होने पर यह प्रोटॉन, इलेक्ट्रॉन और न्यूट्रॉन नामक कणों में बदल जाता है। इसका भार 1.6747×10^{-24} ग्राम और व्यास 1.5×10^{-13} से० मी० होता है।

2

रेडियोधर्मिता

उन्नीसवीं शताब्दी के अन्त में वैज्ञानिकों ने चमकदार स्फुरण के अध्ययन पर विशेष बल दिया और 1895 में एक जर्मन वैज्ञानिक विल्हेल्म रान्जेन (Wilhelm Roentgen) ने एक ऐसे विकिरण का पता लगाया, जो धातुओं के पतले टुकड़ों से होकर दूसरी ओर निकल जाता था। जब बेरियम प्लैटिनोसायनाइड नामक लवण द्वारा लेप की गई पट्टियों पर यह विकिरण डाला गया तो ये पट्टियां अपने आप चमकने लगीं। उन्होंने इस विकिरण का नाम 'एक्स रे' (X-ray) रखा। आज तो वैज्ञानिक तथा चिकित्सा जगत में एक्सरे का इतना अधिक उपयोग होने लगा है कि जन साधारण इससे भली भाँति परिचित हो गया है, किन्तु लोगों को यह पता नहीं है कि मानवता की इस महान उपलब्धि के आविष्कर्ता रान्जेन को आजीवन संघर्ष करना पड़ा और उनका अंतिम जीवनकाल दरिद्रता में व्यतीत हुआ।

फ्रांस का बेकरल वंश विज्ञान के इतिहास में सदा के लिए अमर हो गया है। आंत्वां आंरी बेकरल (Antoine Henry Becquerel) के पिता एदम्यूं बेकरल (Edmund Becquerel) और पितामह जां बेकरल (Jean Becquerel) भौतिकी के जाने माने विद्वान थे। आंरी बेकरल न केवल भौतिकी के ज्ञाता थे, बल्कि एक अभियंता भी थे। वह यूरेनियम के लवण में विकिरण का अध्ययन कर रहे थे। पोटेशियम यूरेनिल सल्फेट नामक लवण को सूर्य के

प्रकाश में रखने के उपरान्त इसे धातु की एक पर्णिका में लपेट कर रख दिया। इसके निकट काले कागज में लिपटी हुई फोटोग्राफी की प्लेटें रखी हुई थीं। इन प्लेटों को जब डेवलप किया गया तो यह पता चला कि बन्द होनेपर भी यह काली पड़ गई है। बेकरल ने यह विचार व्यक्त किया कि यूरेनियम के लवण पर सूर्य का प्रकाश पड़ने पर जो स्फुरण निकलता है, उसी के प्रभाव से फोटोग्राफी की प्लेटें काली पड़ जाती हैं। इसे सिद्ध करने के लिए उन्होंने अपने परीक्षण को दुबारा करने का विचार किया किन्तु पेरिस में फरवरी मास में बूदांबांदी के कारण सूर्य का प्रकाश न मिल पाया। उत्कंठावश बेकरल ने यूरेनियम लवण को सूर्य के प्रकाश में न रखकर उसे सीधे ही बन्द फोटोग्राफी की प्लेटों पर रख दिया। इन प्लेटों को डेवलप करने पर फिर कालापन आ गया। यूरेनियम लवण तथा काले कागज में बन्द फोटोग्राफी की प्लेटों को एक अन्धेरे कक्ष में रखने पर भी वही परिणाम निकला। इस प्रकार 1896 में बेकरल इस निष्कर्ष पर पहुंचे कि यूरेनियम लवण से निकलने वाले एक विशिष्ट विकिरण के प्रभाव से फोटोग्राफी की बन्द प्लेटें भी काली पड़ जाती हैं। बेकरल ने अपने प्रयोगों द्वारा यह भी प्रदर्शित किया कि यह विकिरण ठोस पदार्थों के आर पार चला जाता है। गैसों के अणुओं को आयनित कर देता है और विलेमाइट (Willemite) जैसे पर्दों पर गिरकर चमकदार स्फुरण उत्पन्न करता है। फ्रांसीसी वैज्ञानिक पियेर क्यूरी (Pierre Curie) और मारी क्यूरी (Marie Curie) ने इस गुण को रेडियोधर्मिता Radioactivity) का नाम दिया। रेडियोधर्मिता के अन्वेषण के लिए 1903 में भौतिकी का नोबेल पुरस्कार बेकरल तथा क्यूरी दंपती को दिया गया।

बेकरल की इस गवेषणा से प्रभावित होकर क्यूरी दम्पत्ति ने यह देखा कि पिचब्लेंड नामक खनिज यूरेनियम लवण की अपेक्षा बहुत अधिक विकिरण देता है। यह खनिज पदार्थ चेकोस्लोवाकिया की खानों में मिलता था और उस समय इसका कोई भी मूल्य नहीं था। क्यूरी दम्पत्ति ने खानों के मालिकों से यह खनिज पदार्थ अत्यन्त सस्ती दर पर खरीद लिया और वहां से लेकर पेरिस में अपने निवास स्थान के निकट लकड़ी के एक साधारण से शैड के नीचे इसे साफ करना प्रारम्भ किया। इस खनिज को खरीदने और पेरिस तक ले आने के लिए क्यूरी दम्पति को अपनी गाढ़ी कमाई का पैसा व्यय करना पड़ा। उन्हें कहीं से किसी भी प्रकार की कोई आर्थिक सहायता नहीं मिली। एक टन खनिज में से एक मिलीग्राम रेडियोऐक्टिव पदार्थ उपलब्ध होता था। इस प्रकार कई टन खनिज में से लगभग एक ग्राम के दशमांश के बराबर रेडियोऐक्टिव तत्व पृथक किया गया। इसमें से एक तत्व का नाम मैडम क्यूरी ने अपनी मातृभूमि पोलैंड के नाम पर

(Polonium) पोलोनियम रखा और दूसरे तत्व का नाम रेडियम (Radium) रखा। खनिज पदार्थ को धोकर उसमें से रेडियोऐक्टिव तत्व निकालने के लिए क्यूरी दम्पत्ति को दूर से बाल्टियों में पानी भर-भर कर लाना पड़ता था। एक बार जब मैडम क्यूरी ने अपनी इस खोज को वैज्ञानिकों के समक्ष प्रस्तुत किया था तो लोगों ने उसे अपने परीक्षण दुहराने की सलाह दी थी। इतनी कठिनाइयों के बीच भी मैडम क्यूरी अपने पथ से विचलित नहीं हुई और असीम साहस अटल आत्मविश्वास और अडिग धैर्य से विश्व के प्रथम व्यक्ति के रूप में सम्मानित हुई जिसे सर्व प्रथम दो बार नोबेल पुरस्कार प्रदान किया गया।

रेडियम की खोज के उपरान्त वैज्ञानिक यह सोचने लगे कि रेडियोऐक्टिव तत्वों में से जो विकिरण निकलता है वह एक न होकर कई विकिरणों का मिश्रण हो सकता है। इलेक्ट्रॉन के आविष्कारक सर जे० जे० थामसन (J.J. Thomson) के निदेश में कार्य करने वाले अर्नेस्ट रदरफोर्ड (Earnest Rutherford) ने रेडियोऐक्टिव विकिरण पर चुम्बकीय क्षेत्र के प्रभाव का अध्ययन प्रारम्भ किया। अपने इस प्रयोग द्वारा उन्होंने यह सिद्ध किया कि रेडियोऐक्टिव विकिरण तीन प्रकार का होता है। अपने शैशव काल में पाठशाला में वे यूनानी भाषा में पुरस्कृत हुए थे। उसके संस्मरण रूप में उन्होंने यूनानी भाषा के प्रथम तीन अक्षरों– एल्फा, बीटा और गामा के नाम पर तीनों विकिरणों का नाम रखा।

एल्फा किरणें (α-Rays)

एल्फा किरणें धनाविष्ट आयनों का एक पुंज हैं जो चुम्बकीय क्षेत्र में अपने पथ से विचलित हो जाती हैं। इस विचलन के अध्ययन से यह पता चला कि एल्फा कणों के ऊपर दो प्रोटानों के बराबर धनावेश है और इनका भार चार प्रोटानों के बराबर है। वास्तव में, एल्फा कण हीलियम परमाणुओं के नाभिक होते हैं, जिनपर दो धनावेश होते हैं। इस तथ्य को सिद्ध करने के लिए रदरफोर्ड ने एक नली में पर्याप्त मात्रा में एल्फा कण एकत्र करके उसका वर्णक्रम लिया और यह सिद्ध कर दिया कि एल्फा कणों और हीलियम के आवेशित परमाणुओं में कोई असमानता नहीं है। अतएव नाभिकीय विज्ञान में एल्फा कणों को ^4_2He के संकेत से प्रदर्शित किया जाने लगा। अब इन कणों के गुणों का वर्णन किया जायेगा।

(अ) रेडियोऐक्टिव तत्वों में से एल्फा कण बड़े वेग से निकलते रहते हैं। इन कणों की गति प्रकाश की गति का दसवां लगभग 1.4×10^9 सेन्टीमीटर से 2.2×10^9 सेन्टीमीटर

प्रति सेकेंड होती है। इससे यह स्पष्ट हो जाता है कि एल्फा कण अत्यन्त ऊर्जावान हैं। इन ऊर्जावान एल्फा कणों को मिलियन इलेक्ट्रान वोल्ट में व्यक्त किया जाता है। इनकी ऊर्जा चार से लेकर दस मिलियन इलेक्ट्रान वोल्ट (MeV) तक होती है।

(ब) अधिक भारी होने के कारण एल्फा कणों की भेदन शक्ति कम होती है और धातुओं की पतली पर्णिकाओं में से होकर यह बाहर नहीं जा पाते। उदाहरणार्थ एल्फा कण एल्यूमिनियम की 0.1 मिलीमीटर मोटी चद्दर को बेधकर बाहर नहीं निकल पाते। साधारण दबाव पर वायु में इनकी गति कुछ सेन्टीमीटरों तक ही सीमित रहती है।

(स) जब उच्च वेगवान एल्फा कण, गैसों के अणुओं से टकराते हैं, तब गैस के अणुओं में से इलेक्ट्रान निकाल कर उन्हें आयनीकृत कर देते हैं और गैस कणों पर धनावेश पैदा हो जाता है। गैस आयनन के इस गुण का उपयोग रदरफोर्ड के सहयोगी विल्सन (Wilson) ने एल्फा कणों का मार्ग स्रोत देखने के लिए किया था। उन्होंने एक कोष्ठ में एल्फा कणों का एक स्रोत रख दिया। उक्त कोष्ठ में नम वायु भरकर उसका तापमान एक दम नीचे कर दिया गया। ठंडा होने पर वायु में उपस्थित आवेक्षित कणों पर वाष्प द्रवीकृत हो जाती है। इस प्रकार एल्फा कणों द्वारा जिस मार्ग से वायु के अणुओं का आयनीकरण होता है, वह स्पष्ट दिखाई पड़ने लगता है।

(द) बेरियम प्लैटिनोसाइनाइड (विलेमाइट) या जिन्क सल्फाइड के पटल पर गिरने पर प्रत्येक एल्फा कण चमकदार प्रस्फुरण उत्पन्न करते हैं। इन प्रस्फुरणों द्वारा इन एल्फा कणों की गणना की जाती है।

बीटा किरणें (β-Rays)

समान विद्युतीय या चुम्बकीय क्षेत्रों की उपस्थिति में बीटा कण एल्फा कणों की तुलना में अधिक विचलित होते हैं और विचलन के अध्ययन से ज्ञात होता है कि बीटा किरणें इलेक्ट्रानों की एक पुंज हैं। इसीलिए इनका विचलन एल्फा कणों की विपरीत दिशा में होता है। बीटा कणों के कुछ गुण निम्नलिखित हैं :

(अ) इनका वेग एल्फा कणों से अधिक होता है। इनकी गति साधारणत : 0.6×10^9 से लेकर 2.8×10^9 से० मी० प्रति सेकंड होती है।

(ब) इनका भार नगण्य होता है परन्तु वेग एल्फा कणों की अपेक्षा अधिक होता है अतएव इनकी भेदन शक्ति एल्फा कणों की तुलना में अधिक होती है। बीटा कण वायु में कई मीटरों तक गमन कर सकते हैं और इन्हें अवशोषित करने के लिए एल्युमिनियम की एक सेन्टीमीटर मोटी चद्दर की आवश्यकता होती है।

(स) इनका वेग एल्फा कणों से अधिक होता है, तथापि भार की कमी के कारण बीटा कण गैसीय परमाणुओं को उतना आयनीकृत नहीं कर पाते जितना कि एल्फा कण करते हैं। इसलिए विल्सन अभ्र कोष्ठ (Wilson Cloud Chamber) में बीटा कणों का मार्ग अधिक टेढ़ा मेढ़ा होता है और देखने पर एल्फा कणों की तुलना में अधिक हल्का सा दिखाई पड़ता है।

(द) बीटा कणों का भार अत्यन्त कम होने के कारण विलेमाइट प्लेटों पर इनका प्रभाव नहीं पड़ता। किन्तु फोटोग्राफी की प्लेटों पर बीटा कण अधिक प्रभावकारी होते हैं।

गामा किरणें (γ-Rays)

चुम्बकीय अथवा विद्युतीय क्षेत्र का गामा किरणों पर कोई भी प्रभाव नहीं पड़ता। इन दोनों ही क्षेत्रों में गामा किरणें अपने मार्ग पर अविचल रहती हैं। इससे यह निष्कर्ष निकाला गया कि गामा किरणों में धनात्मक अथवा ऋणात्मक कोई भी आवेश नहीं रहता। इनकी तुलना प्रकाश अथवा एक्स किरणों से की जा सकती है किन्तु इनका तरंग दैर्ध्य (Wave Length) उन दोनों की अपेक्षा बहुत कम होता है। तुलनात्मक अध्ययन के लिए इन तीनों किरणों का तरंग दैर्ध्य इस प्रकार है : साधारण प्रकाश की किरणों का तरंग दैर्ध्य 4×10^{-5} से लेकर 8×10^{-5} से० मी० एक्स किरणों का तरंग दैर्ध्य 1×10^{-8} से लेकर 10×10^{-8} सेन्टीमीटर तथा गामा किरणों का तरंग दैर्ध्य एक्स किरणों के दसवें भाग से लेकर सौवें भाग के बराबर होता है। गामा किरणों के गुण इस प्रकार हैं :

(अ) विलेमाइट अथवा फोटोग्राफी की प्लेटों पर इनका प्रभाव बहुत कम पड़ता है।

(ब) गामा किरणें गैसों को बहुत कम आयनित करती हैं।

(स) गामा किरणें प्रकाश के वेग (3×10^{10} सेन्टीमीटर प्रति सेकंड) से चलती हैं। आवेश रहित होने के कारण इनकी भेदन शक्ति बहुत अधिक होती है। उदाहरण के लिए गामा किरणें सीसे (लेड) की आठ सेन्टीमीटर मोटी चद्दर में से होकर बाहर निकल जाती हैं।

एल्फा, बीटा और गामा किरणों के गुण ज्ञात करने के उपरान्त रदरफोर्ड और साडी (Ruther Ford & Soddy) ने यह विचार व्यक्त किया कि रेडियोधर्मिता परमाणुओं के नाभिकों से सम्बन्धित गुण है। यह गुण बाह्य दशाओं जैसे तापमान, दाब आदि से प्रभावित नहीं होता। इन वैज्ञानिकों ने यह बतलाया कि रेडियोऐक्टिव तत्वों के परमाणु अस्थायी होते हैं और इन तत्वों के नाभिकों में से ऐल्फा अथवा बीटा कण स्वतः निकला करते हैं। इस प्रकार इन कणों के निकल जाने पर एक तत्व दूसरे में बदल जाता है क्योंकि यह कण परमाणु नाभिकों के भाग होते हैं और इनके निकल जाने पर नाभिकों के भार तथा आवेश में परिवर्तन हो जाता है। एक एल्फा कण निकलने पर परमाणु के नाभिक के भार तथा आवेश में क्रमशः चार और दो की कमी हो जाती है। बीटा कण का भार नगण्य होता है, अतएव इसके निकल जाने पर परमाणु नाभिक के भार में किसी भी प्रकार का अन्तर नहीं पड़ता, परन्तु उसके धनावेश में एक की वृद्धि हो जाती है। गामा किरणों के निकलने से परमाणु के नाभिक के भार तथा आवेश में कोई अन्तर नहीं होता है।

समस्थानिक

कभी-कभी एक ही तत्व के परमाणुओं के नाभिकों में प्रोटानों की संख्या समान होती है किन्तु उनके भार भिन्न होते हैं। तत्व के ऐसे परमाणुओं को समस्थानिक (Isotope) कहते हैं। एक समस्थानिक को आवर्त सारणी में एक स्थान पर रखे जाते हैं। इनके नाभिकों में न्यूट्रानों की संख्या अलग-अलग होती है। उदाहरण के लिए $^{24}_{12}Mg$, $^{25}_{12}Mg$, $^{26}_{12}Mg$ में से प्रत्येक समस्थानिक में 12 प्रोटान हैं किन्तु इनमें क्रमशः 12, 13 और 14 न्यूट्रान वर्तमान होते हैं। परमाणु संख्या एक होने के कारण समस्थानिकों के रासायनिक गुण समान होते हैं।

रेडियोधर्मिता के अध्ययन द्वारा प्रसिद्ध वैज्ञानिक साडी ने यह निष्कर्ष निकाला कि कुछ तत्व समस्त रासायनिक गुणों में बिल्कुल एक समान होते हुए भी परमाणु भार तथा रेडियोधर्मिता सम्बन्धी गुणों में एक दूसरे से भिन्न हैं। उदाहरण के लिए आयोनियम ($^{230}_{90}Th$), रेडियो थोरियम ($^{228}_{90}Th$) और रेडियोऐक्टीनियम ($^{227}_{90}Th$) इन सबकी परमाणु संख्या 90 है इसलिए इन तीनों का ही स्थान आवर्त तालिका में समान होगा और इनके रासायनिक गुण भी लगभग एक ही समान होंगे। आवर्त तालिका में समान स्थान पर होने के कारण ही ऐसे तत्वों को जिनकी परमाणु संख्याएँ समान हों परन्तु जिनके परमाणु भार (या द्रव्यमान संख्याएं) भिन्न हों, समस्थानिकों का नाम दिया गया है।

सीसा पहला स्थायी तत्व है जिसके समस्थानिकों का पता वैज्ञानिकों को चला। विभिन्न स्तरों पर निकले हुए कुल एल्फा कणों की गणना से ज्ञात हुआ है कि यूरेनियम से प्राप्त सीसे (लैड) का भार 206 और थोरियम से प्राप्त सीसे का भार 204 होता है। साधारण सीसे का भार 207.1 है। साडी ने यह कल्पना की कि साधारण सीसा 206 तथा 208 परमाणु भार वाले समस्थानिकों का मिश्रण है। अपनी कल्पना की पुष्टि में उन्होंने यह प्रदर्शित किया कि थोरियम खनिज थोराइ से जो सीसा प्राप्त होता है उसका परमाणु भार 207.7 तक आता है। शीघ्र ही अन्य वैज्ञानिकों ने पता लगाया कि यूरेनियम खनिज यूरेनाइट से निष्कर्षित सीसे का परमाणु भार 206.4 आता है। वर्णक्रम की समानता से यह स्पष्ट था कि ये दोनों तत्व समस्थानिक ही हैं।

उपर्युक्त विवरण से स्पष्ट है कि समस्थानिकों की गवेषणा सर्वप्रथम रेडियोऐक्टिविटी के अध्ययन के सम्बन्ध में हुई। परन्तु इससे यह समझना भ्रान्तिपूर्ण होगा कि केवल रेडियोऐक्टिव तत्वों के ही समस्थानिक होते हैं। यथार्थ में नियान की धन रश्मियों (Positive Rays)का अध्ययन करते समय सर जे० जे० थामसन को सर्वप्रथम समस्थानिकों की उपस्थिति का आभास मिला था परन्तु उस समय वह अपने प्रयोगफलों का पूर्ण अभिप्राय समझ नहीं पाए थे। आज हमें ज्ञात है कि नियान केंद्रों के समस्थानिक होते हैं जिनके परमाणु भार क्रमशः 20 तथा 22 हैं और दोनों की परमाणु संख्या 10 है।

हम जानते हैं कि तत्व के समस्त रासायनिक गुण नक्षत्रीय इलेक्ट्रानों पर निर्भर करते हैं। नियान के इन दोनों समस्थानिको में 10 नक्षत्रीय इलेक्ट्रान हैं, इसलिए इनके रासायनिक गुण एक समान होंगे। नियान के इन दोनों समस्थानिकों के केवल नाभिक में अन्तर है। इस प्रकार स्पष्ट हो जाता है कि समस्थानिकों के केवल नाभिक में अन्तर होता है और इसलिए नाभिक सम्बन्धी रेडियोऐक्टिव गुणों में समस्थानिक भिन्नता प्रदर्शित कर सकते है।

ऐतिहासिक दृष्टिकोण से तो सन् 1815 में वैज्ञानिक प्राउट (Prout) ने यह कल्पना प्रस्तुत की थी कि सभी तत्वों के परमाणु हाइड्रोजन परमाणुओं से बने होते है। अतएव इस कल्पना के आधार पर सभी तत्वों के परमाणु भार पूर्णांक होना चाहिए परन्तु डैवी सदृश अनेकों वैज्ञानिकों ने तत्वों के परमाणु भार बहुत सावधानी से निर्धारित करके इस कल्पना को निर्मूल सिद्ध कर दिया। उदाहरण के लिए क्लोरीन का परमाणु भार 35.46 है, जो प्रयोगों में किसी प्रकार की भी मूल के आधार पर भी 35 या 36 नहीं माना जा सकता था। आधुनिक ज्ञान से हम जानते हैं कि क्लोरीन के किसी भी परमाणु का भार 35.5 नहीं है वरन् साधारण क्लोरीन 35 तथा 37 परमाणु भार वाले

समस्थानिकों का 4 : 1 अनुपात में मिश्रण होता है।

इन समस्थानिकों में से लगभग 275 स्थिर होते हैं जो प्रकृति में उपलब्ध हैं। किन्तु आज लगभग डेढ़ हजार कृत्रिम समस्थानिक बनाए जा चुके हैं जो प्रायः रेडियोधर्मी हैं।

कृत्रिम समस्थानिक

सर जान डगलस काकराफ्ट (Sir John Douglas Cocraft) ने कैम्ब्रिज विश्वविद्यालय में रदरफोर्ड के साथ अनुसंधान कार्य किया था। काकराफ्ट गणित और अभियांत्रिकी दोनों के ज्ञाता थे। इस ज्ञान के कारण उन्हें प्रोटान त्वरक (Proton Accelerator) बनाने में बहुत सहायता मिली। इस यंत्र के निर्माण में उन्हें अपने सहयोगी अर्नेस्ट वाल्टन से भी बड़ी सहायता मिली। उन्होंने एक निर्वात नली में हाइड्रोजन आयन प्रवाहित किया और इन आयनों की गति बहुत तीव्र कर दी गई। जब तीव्र गतिमान हाइड्रोजन आयन लिथियम पर जाकर गिरे तो उसमें से दो एल्फा कण बाहर निकल आए। इस प्रकार 1931 में प्रथम बार नाभिकीय परिवर्तन किया गया। इसके उपरान्त 1935 में फ्रेडरिक तथा आइरीन जालियो क्यूरी (Frederic and Irene Joliot Curie) एल्युमिनियम धातु पर एल्फा कणों की लगातार बमवर्षा करने पर यह देखा कि एल्यूमिनियम रेडियोऐक्टिव बन गया। विश्लेषण के बाद यह पता चला कि इस टार्गेट में एल्यूमिनियम के अतिरिक्त रेडियोऐक्टिव फास्फोरस भी उपस्थित है। इसी प्रकार एल्फा कणों की बमवर्षा करके बोरान से रेडियोऐक्टिव नाइट्रोजन तथा मैगनीशियम से रेडियोऐक्टिव सिलिकान बनाया गया इस प्रकार क्यूरी दम्पति ने यह प्रतिपादित कर दिया कि कोई भी तत्व रेडियोऐक्टिव बनाया जा सकता है। क्यूरी दम्पति की यह उपलब्धि अत्यन्त महत्वपूर्ण है, क्योंकि उनकी इस खोज के आधार पर कोई भी कृत्रिम तत्व या समस्थानिक उचित प्रतिबन्धों को पूरा करके बनाया जा सकता है। आइरीन क्यूरी, मैडम क्यूरी की सुपुत्री थी और उन्हें तथा उनके पति को इस कृत्रिम रेडियोधर्मिता के आविष्कार पर 1935 में नोबेल पुरस्कार दिया गया।

कृत्रिम समस्थानिक बनाने के लिए कोई स्थायी समस्थानिक लेकर उसे प्रोटॉन, न्यूटॉन, इलेक्ट्रान, एल्फा कण अथवा भारी हाइड्रोजन के नाभिकों से किरणीवित किया जाता है। इन कणों को अत्यधिक ऊर्जावान बनाना आवश्यक है। अतएव इस कार्य के लिए या तो नाभिकीय रिऐक्टर अथवा किसी कण त्वरक (Particle Accelerator) यंत्र का उपयोग होता है। इन कण त्वरक यंत्रों के नाम हैं: हेवी आयन लीनियर एक्सीलरेटर, साइक्लोट्रान, सिन्क्रोट्रान, बीटाट्रान, बैवाट्रान।

अब इन यंत्रों द्वारा आवश्यकतानुसार कोई भी समस्थानिक बनाया जा सकता है। परन्तु अधिकतर कृत्रिम समस्थानिक रेडियोऐक्टिव होते हैं।

रेडियोऐक्टिव तत्वों की अर्द्ध आयु

प्रत्येक रेडियोऐक्टिव तत्व एक गति विशेष से विखंडित होता रहता है। इसके विखंडन पर तापमान, दाब और अन्य संयोजन अवस्थाओं का कोई भी प्रभाव नहीं पड़ता। रदरफोर्ड तथा साडी ने अपने प्रयोगों द्वारा यह बतलाया कि रेडियोऐक्टिव तत्वों की विखंडन गति उस समय उपस्थित परमाणुओं की संख्या पर निर्भर होती है। इस गुण को अर्द्धजीवन काल (Half-life) से व्यक्त किया जाता है। इससे यह अभिप्राय है कि कितने समय में कोई तत्व विखंडित होकर केवल आधा रह जायेगा। किसी भी रेडियोऐक्टिव तत्व का विखंडन उसकी प्रारम्भिक मात्रा पर निर्भर नहीं होता बल्कि यदि हम उस तत्व की किसी भी मात्रा से समय की गणना आरम्भ करें तो जितने समय में विखंडित होकर उसकी मात्रा आधी रह जायेगी उसे अर्द्ध जीवन काल कहेंगे। उदाहरण के लिए यदि रेडियम, जिसका परमाणु भार 226 है, 1620 वर्ष में विखंडित होकर इसका भार 113 ग्राम रह जायेगा और इसी प्रकार आगामी 1620 वर्ष में यह केवल 56.5 ग्राम रह जायेगा। अतएव रेडियम 226 की अर्द्ध आयु 1620 वर्ष होगी। यह भी देखा गया कि रेडियोऐक्टिव परिवर्तनों से बने तत्व प्रायः रेडियोऐक्टिव होते हैं।

प्रत्येक तत्व के स्थायी और रेडियोऐक्टिव समस्थानिकों के रासायनिक गुण एक समान होते हैं। अतएव समस्त रासायनिक और जैविक प्रक्रियाओं में इनका व्यवहार एक ही प्रकार का होता है। इनका पता इनके विकिरणों द्वारा ज्ञात किया जाता है। यदि रेडियोऐक्टिव समस्थानिक अत्यन्त सूक्ष्म मात्रा में भी उपलब्ध हों तो भी इनका पता अभिक्रिया के किसी भी स्तर पर लगाया जा सकता है। उदाहरण के लिए फासफोरस-32 की 10^{-16} ग्राम मात्रा भी रासायनिक अभिक्रियाओं के अध्ययन के लिए यथेष्ट होती है। पदार्थ की इतनी सूक्ष्म मात्रा होने पर भी विभिन्न गणित्रों (Counters) द्वारा विकिरण नाप कर समस्त रासायनिक अभिक्रियाओं और रेडियोऐक्टिव समस्थानिकों की गतिविधियों का पता बिना किसी त्रुटि के लगाया जा सकता है।

नाभिकीय विकिरणों की माप

रेडियो समस्थानिकों का उपयोग विज्ञान, चिकित्सा और अभियांत्रिकी के विभिन्न क्षेत्रों में

अध्ययन और अनुसंधान के लिए होने लगा है। इन समस्थानिकों द्वारा किए जाने वाले समस्त अनुप्रयोगों का आधार इनसे प्राप्त विकिरण है, जिनके प्रभावों को नापकर अनेक समस्याओं का हल ढूंढ़ निकाला गया है। यह विकिरण जब किसी पदार्थ से अभिक्रिया करते हैं अथवा उसमें से होकर गमन करते हैं तब या तो पदार्थों को आयनित कर देते हैं अथवा उसे उत्तेजित कर देते हैं। अतएव नाभिकीय विकिरणों को नापने के लिए आयनन अथवा स्फुरण जनित्र प्रभावों की गणना की जाती है। आयनन मापी यंत्र आयन-युग्मों (Ion-Pairs) के विद्युत आवेशों को इतना बढ़ा देते हैं कि इलेक्ट्रॉनिक यंत्रों की सहायता से उनकी गणना की जाती है। जब नाभिकीय विकिरण इन अकार्बनिक पदार्थों में से होकर जाते हैं तो परमाणु उत्तेजित हो जाते हैं। यदि यह कुछ कार्बनिक पदार्थों में से होकर जाते हैं तो काम्पनिक उत्तेजन पैदा होते हैं। जब पदार्थ उत्तेजित अवस्था से साधारण अवस्था में वापस आ जाता है तब उसमें से प्रकाश निकलता है। इस प्रकाश को विद्युत स्पंदों (Pulses) में परिवर्तित करके मापक प्रणाली में भेज दिया जाता है। इस प्रकार के यंत्रों को स्फुरण संसूचक (Scintillation Detector) कहते हैं।

अब हम आयनन संसूचकों का वर्णन करेंगे।

आयनन संसूचक (Ionization Detector)

ये दो प्रकार के होते है। एक को गैस आयनन ससूचक तथा दूसरे को ठोसावस्था आयनन संसूचक कहते हैं। विकिरण का पता लगाने के लिये सबसे पहले गैस आयनन संसूचकों का उपयोग हुआ था। इनके नाम हैं :

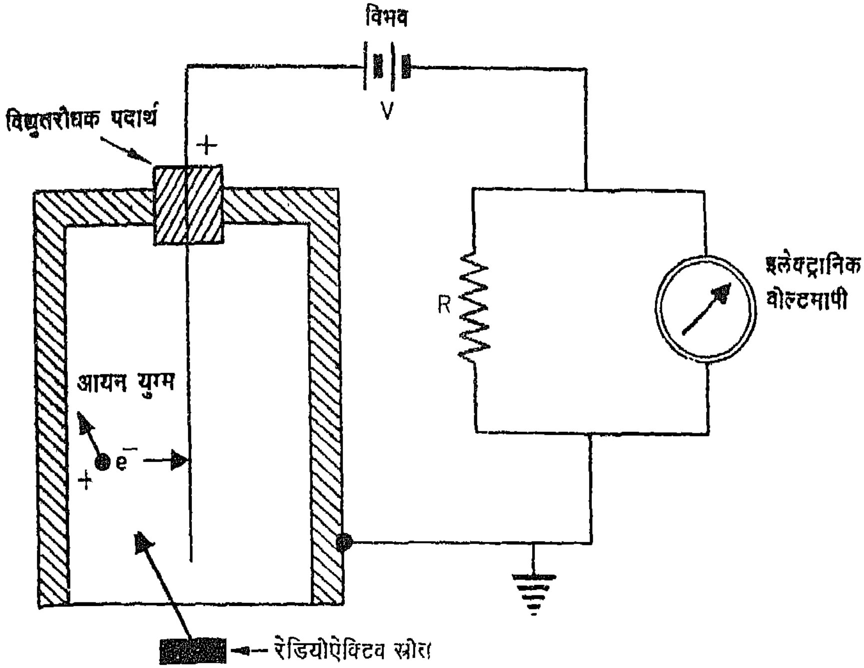
(क) आयनन कक्ष, (Ionization Chamber)

(ख) प्रोपोर्शनल काउन्टर (Proportional Counter)

(ग) गाइगर मूलर काउन्टर (Geiger Muller Counter)

दायें दिया हुआ चित्र गैस आयनन संसूचक का है। एक कक्ष केन्द्र में एक एनोड लगा होता है इसपर धनावेश होता है। कक्ष की दीवारे कैथोड का कार्य करती हैं। इनपर ऋणावेश होता है। इन दीवारों पर विद्युत रोधक पदार्थ इस प्रकार लगा दिया जाता है कि एनोड पर इसका कोई प्रभाव न पड़े। इस कक्ष में एक वायु मंडलीय दाब पर गैस भरी होती है। साधारणतया इसमें हीलियम या आर्गन गैस भरी रहती है। नीचे रखा हुआ रेडियोऐक्टिव विकिरण जब इस कक्ष में प्रवेश करता है तब विकिरण द्वारा गैस में आयन युग्म (Ion-Pair) पैदा हो जाते हैं। इन आयनों

को इकट्ठा करने के लिए इन दोनों इलेक्ट्रोडों को उच्च विभव पर रखना पड़ता है। इस प्रकार विद्युत स्पद उत्पन्न होते हैं। इन्हें बढ़ाकर नापा जाता है।



चित्र 1 गैस आयनन ससूचक

जब आवेश युक्त कण किसी गैस में प्रवेश करते हैं तब वह गैस थोड़ी बहुत आयनित हो जाती है और कुछ आयन युग्म उत्पन्न हो जाते हैं। यदि विद्युत विभव कम होता है तो अधिकांश आयन युग्म ज्यों के त्यों बने रहते हैं, केवल कुछ आयन, इनमें से अलग होकर इलैक्ट्रोडों पर इकट्ठे होते हैं। जब इलेक्ट्रोडों पर विद्युत विभव बढ़ता जाता है तब उसी अनुपात से विद्युत क्षेत्र भी बढ़ता जाता है। यह कार्य तब तक होता है जब तक कि समस्त आयन युग्म इलेक्ट्रोडों के ऊपर इकट्ठे नहीं होते। इस विभव पर आयनन कक्ष (Ionization Chamber) कार्य करते हैं।

इलेक्ट्रोडों पर विभव बढ़ता जाता है। अतएव आयनों के जो जोड़े पैदा होते हैं वे अपने उत्पत्ति स्थान से ऐनोड की दिशा में तीव्र गति से गमन करने लगते हैं। विद्युत क्षेत्र जितना बढ़ता जाता है उतनी ही अधिक ऊर्जा इन आयन युग्मों को प्राप्त होती है और वह नए आयन युग्म उत्पन्न करते हैं। इससे प्रारम्भ में उत्पन्न इलेक्ट्रानों की संख्या के अनुपात में विद्युत स्पंद उत्पन्न होते हैं इसे प्रोपोर्शनल क्षेत्र कहते हैं। जब आयन युग्म बहुत अधिक बढ़ते हैं तब इसे लिमिटेड प्रोपोर्शनलिटी क्षेत्र (Limited Proportionality Region) कहते हैं। अब यदि विभव और भी अधिक बढ़ जाता है तब गैस के आयन और भी अधिक बढ़ जाते है और विद्युन विसर्जन सम्पूर्ण ऐनोड के ऊपर फैल जाता है। इस प्रकार अंत में स्पंदों के आकार एवं प्रारम्भिक आयनन में कोई भी सम्बन्ध नहीं रहता। इसे गाइगर मूलर क्षेत्र कहते हैं। विभव के और बढ़ जाने पर लगातार विद्युत विर्सजन होने लगता है।

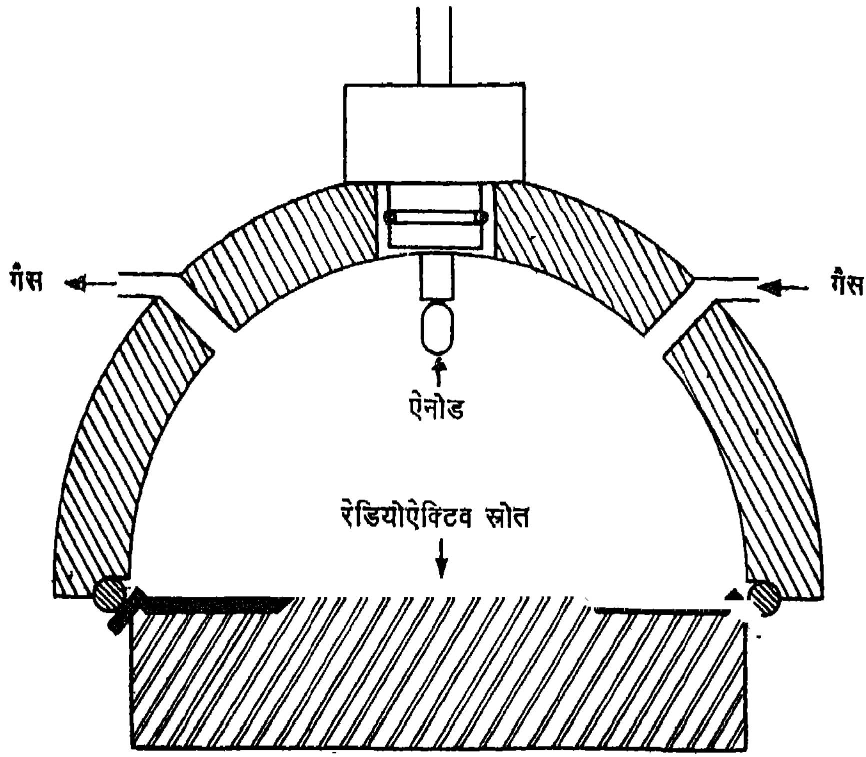
आयनन कक्ष– इसका उपयोग एल्फा कणों की गणना करने के लिए किया जाता है। बीटा कणों और गामा विकिरण से गैसों में उतना अधिक आयनन नहीं होता, जितना कि एल्फा कणों से होता है अतएव आयनन कक्ष द्वारा बीटा कण तथा एल्फा विकिरण की माप नहीं हो सकती। विद्युत परिपथ में आवश्यक परिवर्तन करके और इन कणों की संख्या बढ़ा देने पर इनका माप आयनन कक्ष में हो सकता है।

इस यंत्र में वायु अथवा हीलियम और आर्गन गैस भरी होती है। इन गैसों का दाब, वायुमंडलीय दाब से अधिक होता है। यदि रेडियोधर्मिता बहुत अधिक हो तभी इस यंत्र का उपयोग हो सकता है।

प्रोपोर्शनल काउन्टर (Proportional Counter)

पतले ऐनोड के तार के निकट विद्युत क्षेत्र बहुत अधिक शक्तिमान होता है। जब इलेक्ट्रान हीलियम आयनों से निकलकर धनावेशित केन्द्रीय तार के पास जाते हैं तब विद्युत क्षेत्र के कारण इनकी गति बढ़ती जाती है। बढ़ते-बढ़ते इनकी गति इतनी अधिक हो जाती है कि यह गैस में से अनेक इलेक्ट्रान निकाल देते हैं। ये निकले हुए इलेक्ट्रान भी केन्द्रीय तार की ओर जाने लगते हैं और इनकी गति इतनी अधिक हो जाती है कि यह भी गैस को आयनित करते हैं इस प्रकार जब गैस आयनित होती है तब अल्ट्रावायलेट प्रकाश भी उत्पन्न होता है जिससे पास के परमाणु आयनित हो जाते हैं और इलेक्ट्रान निकल जाते हैं। इस प्रकार केन्द्रीय तार चारों ओर से कई करोड़ इलेक्ट्रानों से

घिर जाता है और विद्युत धारा का एक स्पंद उत्पन्न हो जाता है। एक इलेक्ट्रॉनिक गणना करने वाली मशीन से इन स्पंदों को गिना जाता है। इसे स्केलर (Scaler) कहते हैं। प्रत्येक स्पंद इलेक्ट्रॉनिक परिपथ द्वारा एक निआन बल्ब को बुझाता और जलाता है। स्केलर द्वारा इन बल्बों के बुझने जलने की संख्या प्रदर्शित की जाती है। यह संख्या मशीन में प्रविष्ट स्पंदों के बराबर होती है। अधिकतर स्केलरों में गणना करने वाली मशीन जुड़ी होती है जिसे रजिस्टर कहते हैं। यह प्रत्येक सौवीं या



चित्र 2 प्रोपर्शनल काउण्टर

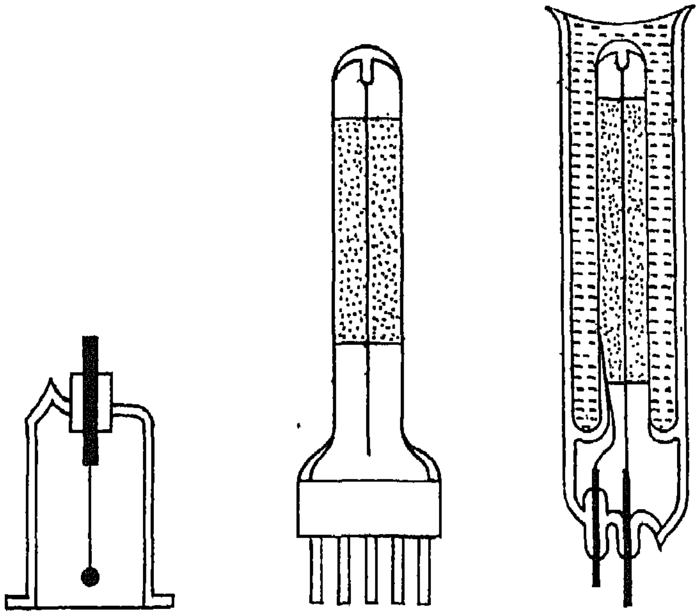
हजारवीं स्पंद को गिन लेता है। इलेक्ट्रॉनिक से गणना करने वाले यंत्र को "स्केलर" का नाम दिया गया क्योंकि इससे अनेक स्पंदों को छोटे पैमाने पर प्रदर्शित किया जाता है। गणना करने वाले इस प्रक्रम को काउन्टिंग (Counting) कहते हैं क्योंकि स्केलर एक-एक करके जोड़ता है।

यदि परिपथ में स्थिर उच्च विभव लगातार बना रहे तो कण की ऊर्जा प्रोपोर्शनल काउन्टर द्वारा नापी जा सकती है। परिपथ में प्राप्य स्पंद प्रारम्भिक इलेक्ट्रानों के समानुपाती होते हैं। ये गणित्र (Counter)प्रायः एल्फा और बीटा कणों की गणना करने में प्रयुक्त होते हैं। इसमें से वायु को हटाने के लिए नब्बे प्रतिशत आर्गन गैस तथा दस प्रतिशत मीथेन गैस अथवा खाना पकाने वाली गैस को काउन्टर में से लगातार प्रवाहित किया जाता है। काउन्टर के भीतर रेडियोऐक्टिव स्रोत रखा जाता है। कार्बन का समस्थानिक जिसका भार चौदह होता है ($^{14}_{6}C$) , इसे गणित्र द्वारा नापा जाता है। यदि इस प्रकार के दो गणित्र जोड़ दिए जाएं तो रेडियोधर्मिता की माप बिना किसी त्रुटि के की जा सकती है।

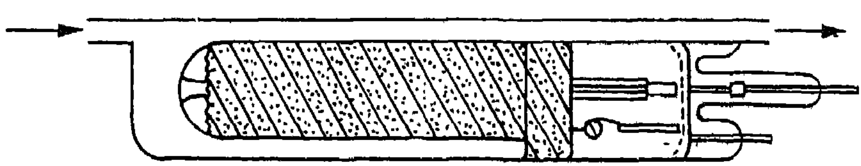
गाइगर मूलर काउन्टर (Geiger Muller Counter)

यह गणित्र (काउन्टर) सभी रेडियोऐक्टिव घटनाओं को नहीं नाप सकता। वास्तव में, प्रति मिनट होने वाली क्षय का केवल दस से बीस प्रतिशत भाग तक नापा जा सकता है। ऐनोड के पास विद्युत क्षे को इतना स्थिर कर दिया जाता है कि प्रारम्भ में उत्पन्न होने वाले आयनों और इलेक्ट्रान समूह ~ कोई भी सम्बन्ध नहीं होता। विशेष सावधानी रखनी पड़ती है जिससे कि सतत विसर्जन न हो सके। इलेक्ट्रान पुंज में प्रथम बार जो इलेक्ट्रान उत्पन्न होते हैं उनकी गति अधिक होती है इसलिए वे ऐनोड पर इकट्ठे हो जाते हैं। धनात्मक आयन भारी होते हैं इसी नाते वे कैथोड की ओर मन्थर गति से जाते हैं। इस समय या तो वे इलेक्ट्रानों को ग्रहण कर लेते हैं अथवा प्रकाश इलेक्ट्रान उत्पन्न करते हैं। इन इलेक्ट्रानों से इलेक्ट्रानों का अन्य पुंज बनता है और इलेक्ट्रान पुनः इलेक्ट्रोड पर एकत्र हो जाते हैं। इसे रोकने के लिए आर्गन गैस के साथ ईथाइल एल्कोहल की वाष्प मिला दी जाती है। एल्कोहल के आयन कैथोड तक पहुंच कर इलेक्ट्रान ग्रहण कर लेते हैं। आवेश शिथिलीकरण की इस प्रक्रिया में जो ऊर्जा उत्पन्न होती है उससे एल्कोहल के परमाणु टूट जाते हैं और इलेक्ट्रानों के समूह इलेक्ट्रोड पर इकट्ठा नहीं हो पाते। इसे रासायनिक शमन कहते हैं। आयनन की किसी भी घटना के उपरान्त ऐनोड़ को चारों ओर से धनात्मक आयन घेर लेते हैं अतएव आयनन की द्वितीय घटना को तब तक काउन्टर नहीं रिकार्ड कर पाता है जब तक कि ये सारे आयन उससे दूर नहीं हट पाते। इस प्रक्रिया में लगने वाले समय को गणित्र का स्थिर काल (Dead Time) कहते हैं। अब कुछ समय के उपरान्त फिर से इलेक्ट्रानिक स्पंद की गणना हो सकती है। इसे पुनः प्राप्ति काल (Recovery Time) कहते हैं। इन दोनों घटनाओं के होने में जितना समय लगता है उसे

रिजोल्विग काल (resolving time) कहते हैं। यदि इसे ग्रीक भाषा के τ अक्षर से प्रयोग द्वारा प्राप्य काउंटों को γ से और वास्तविक काउंटों R द्वारा प्रदर्शित किया जाए तो पृष्ठ 22 पर दिए गऐ समीकरण द्वारा इसे ज्ञात किया जा सकता है:



(अ) एन्ड-विन्डो गणित्र (ब) द्रव-प्रवाहित गणित्र (स) द्रव गणित्र



(द) प्रवाह गणित्र

चित्र 3 विभिन्न प्रकार के गाइगर-मूलर गणित्र

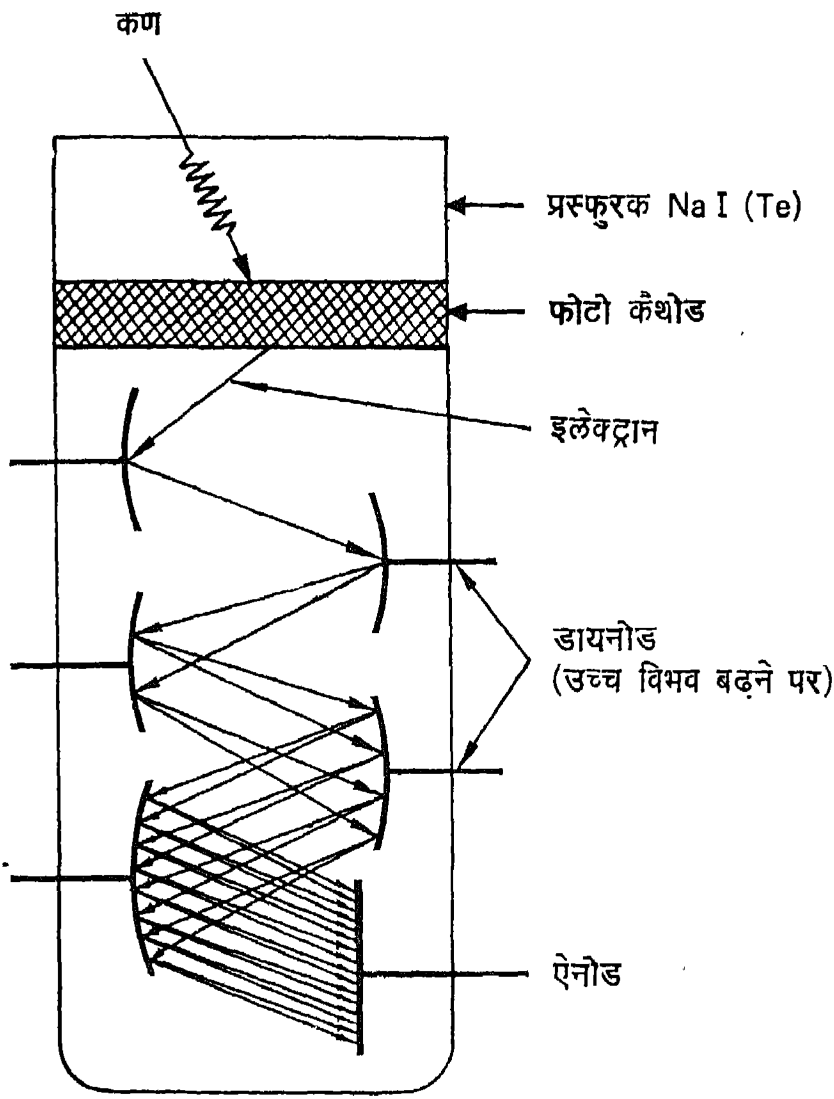
$$R = \frac{\gamma}{1 + \gamma \tau}$$

यदि किसी गाइगर गणित्र में वातायन अत्यन्त पतले पदार्थ से ढका हो तो बीटा कणों की गणना की क्षमता शत प्रतिशत तक हो सकती है। बीटा कणों की गणना की यांत्रिक क्षमता तभी कम होती है जब बीटा कणों की ऊर्जा कम होती है। यदि सीसे (Lead)का बना हुआ केथोड ले लिया जाए तो गामा तथा एक्सरे का भी पता लगाया जा सकता है। इस गणित्र की विशेषता यह है कि इसमें बड़े-बड़े विद्युत स्पंद उत्पन्न होते हैं और गणना करते समय इन्हें बढ़ाना नहीं पड़ता। इस गणित्र का उपयोग द्रव पदार्थों की गणना करने और खनिजों का सर्वेक्षण करने में भी किया जाता है।

गैसों में एक आयन युग्म उत्पन्न करने के लिए लगभग ३५ इलेक्ट्रान वोल्ट ऊर्जा की आवश्यकता पड़ती है। गैस के स्थान पर कोई ठोस पदार्थ लेने पर एक आयन युग्म उत्पन्न करने में लगभग तीन इलेक्ट्रान वोल्ट ऊर्जा की आवश्यकता होती है। अतएव जर्मेनियम के स्फटिक में लिथियम के कुछ परमाणु विसरित करने पर गामा किरणों की गणना अत्यन्त विश्वसनीय हो जाती है क्योंकि ठोस पदार्थ का घनत्व गैस की तुलना में लगभग एक हजार गुना अधिक होता है और आयतन की प्रति इकाई में आयन इतने अधिक उपलब्ध होते हैं कि विभिन्न ऊर्जावान गामा विकिरण अलग-अलग सरलता से नापे जा सकते हैं।

प्रस्फुरण विधि (Scintillation Method)

सोडियम आयोडाइड के एक बड़े स्फटिक में थैलियम आयोडाइड के कुछ परमाणु विसरित कर दिए जाते हैं। गामा किरणों की गणना करने में गाइगर मूलर गणित्रों की क्षमता कम होती है, अतएव थैलियम विसरित सोडियम आयोडाइड के स्फटिक का प्रयोग गामा किरणों की गणना में होता है। गामा विकिरण जब थैलियम युक्त सोडियम आयोडाइड स्फटिक पर गिरता है तब प्रकाश उत्पन्न होता है जो क्षणिक दृष्टिगोचर होता है। इसे स्फुरण विधि कहते हैं। इन स्फुरणों का पता प्रकाश सेल द्वारा लगाया जाता है। स्फटिक और फोटो ट्यूब को किसी ऐसे निर्जलीय तेल या ग्रीस से आपस में इस प्रकार जोड़ देते हैं कि क्षणिक उत्पन्न प्रकाश कैथोड पर पहुँच जाता है। इस कैथोड की विशेषता यह होती है कि यह प्रकाश को सरलता से ग्रहण कर लेता है। यह प्रकाश सेल, प्रकाश की वृद्धि कर देता है। जब प्रकाश का एक फोटान कैथोड पर गिरता है तब उससे इलेक्ट्रान निकलते हैं और प्रत्येक इलेक्ट्रान से लगभग दस लाख इलेक्ट्रान उत्पन्न हो जाते हैं। इसलिए इसे



चित्र 4 स्फुरन विधि

प्रोटोमल्टिप्लायर (Protomultiplier) ट्यूब कहते हैं : इस ट्यूब में ऐसे इलेक्ट्रोड लगे होते हैं जो प्रकाश सक्रिय होते हैं और इन्हें डायनोड (Dynode) कहते हैं। वोल्टेज बढ़ाकर इलेक्ट्रानों को त्वरित किया जाता है। जब कोई इलेक्ट्रान डायनोड पर गिरता है तब वोल्टेज बढ़ाने पर गौण (Secondary) इलेक्ट्रान पैदा होते हैं। इस प्रकार अनेक डायनोडों द्वारा कई लाख इलेक्ट्रान उत्पन्न हो जाते हैं और अन्तिम डायनोड पर एक सार्थक विद्युत स्पंद उत्पन्न हो जाता है। गामा विकिरणों या कणों द्वारा जो ऊर्जा क्षेपित होती है उसी के समानुपात में स्पंद भी बनते है। बीटाकणों का पता ऐंथ्रासीन और ट्रासस्टिबीन नामक कार्बनिक पदार्थों के स्फटिकों से लगता है। एल्फा कणों की गणना जिन्क सल्फाइड से की जाती है।

कार्बन-14 अथवा हाइड्रोजन-3 (ट्रिटियम) से निकलने वाले बीटा कणों की ऊर्जा कम होती है। इनकी शत प्रतिशत गणना इस प्रकार की जाती है। जिन रेडियोऐक्टिव पदार्थों में कार्बन-14 या ट्रिटियम होते हैं उनका विलयन पैरा टर फिनाइल अथवा 2,5 डाई फीनाइल आक्सीजोल अथवा 2,2 फिनाइलीन बिस (5 फिनाइल आक्सीजोल) नामक पदार्थों के साथ टाल्यूईन में तैयार किया जाता है फिर इन रेडियोऐक्टिव समस्थानिकों का मूल्यांकन स्फुरणों को नापकर किया जाता है।

स्वत : विकिरण मापन (Auto-radiography)

सन् 1911 में राइगनम (Reinganum) ने यह पता लगाया कि फोटोग्राफिक पायसों में उपलब्ध चांदी के दानेदार कणों पर एल्फा कणों का प्रभाव पड़ता है। यह प्रभाव उसी प्रकार का होता है जैसा कि फोटोग्राफी की प्लेटों पर साधारण प्रकाश का होता है। रेडियोऐक्टिव पदार्थ तथा फोटोग्राफिक पायस एक दूसरे के अत्यन्त निकट रखे जाते हैं यह पायस एक्सरे प्लेटों पर उपलब्ध पायसों से मिलते जुलते हैं। इस कार्य के लिए एक्सरे फिल्में भी प्रयोग में लाई जाती हैं। अधिकतर एक्सरे फिल्मों के दोनों ओर सुग्राही पायस का लेप होता है जबकि फोटोग्राफी की प्लेटों में यह लेप केवल एक ओर होता है। जैविक अथवा कृषि सम्बन्धी किसी प्रतिदर्शित्र में कोई रेडियोऐक्टिव पदार्थ, किस स्थान पर उपलब्ध है, इसका पता स्वतः विकिरण मापन द्वारा लगाया जाता है। रेडियोऐक्टिव प्रतिदर्शित्र को अधिक देर तक किसी एक्सरे प्लेट के साथ सटाकर रखते हैं। प्रतिदर्शित्र से निकलने वाले विकिरणों का प्रभाव इस प्लेट पर अधिक देर से होता है। अतएव परीक्षण द्वारा इस बात का पता लगाना आवश्यक है कि कितने समय में एक्सरे प्लेट पूर्णतया विकिरणों से प्रभावित हो जायेगी। विकिरण से प्रभावित प्लेट को विशेष प्रकार के फोटोग्राफिक डेवलपर से डेवलप किया जाता है और इसे धोने के उपरान्त एसिटिक एसिड युक्त फिक्सर में

फिक्स किया जाता है। कभी-कभी पायस प्लेट पर से निकल जाता है। अतएव फिक्स करते समय किसी हार्डनर का भी उपयोग किया जाता है। फिल्म को बहते पानी में आधा घंटा धोकर सुखा दिया जाता है। सूखने के उपरान्त प्लेट का परीक्षण सूक्ष्मदर्शी यंत्र से किया जाता है। प्लेट जहां-जहां अधिक काली पड़ जाती है उन्हीं स्थानों पर रेडियो सक्रियता होती है।

3

आयु निर्धारण

विश्व में ऐसी अनेक वस्तुऐं पाई गई हैं जिनके निर्माण काल का पता इस शताब्दी से पहले नहीं था। उदाहरण के लिए धरती के अन्दर दबा हुआ लकड़ी का कोई टुकड़ा, कोई शव अथवा प्राचीन वस्त्र आदि उत्खनन में प्राप्त हुए थे, परन्तु यह निश्चय करना कठिन था कि किस समय इनका निर्माण हुआ। इसी प्रकार हमारी पृथ्वी की शिलाएं भी कब बनीं, इसका ज्ञान इस शताब्दी के पूर्व नहीं था। उन्नीसवीं शताब्दी में भूवैज्ञानिकों ने यह प्रयास प्रारम्भ किया। उन्होंने चट्टानों की मोटाई और अवसाधन (Sedimentation) की गति का अध्ययन करके इस धरती की आयु निश्चित करने का प्रयास किया। लार्ड केल्विन ने 1857 में पृथ्वी के ठंडा होने की दर से यह बतलाया कि हमारी पृथ्वी की आयु दो से चार करोड़ वर्षों के बीच होनी चाहिए। लगभग इसी समय रेडियोधर्मिता का पता लगा। फलस्वरूप यह विचार बदलना पड़ा। धरती के अन्दर स्थित रेडियोऐक्टिव पदार्थों का रेडियोऐक्टिव क्षय एक प्राकृतिक घड़ी के समान होता है जो बिना किसी त्रुटि के कालान्तर का पता बता सकती है। अर्नेस्ट रदरफोर्ड ने 1905 में यह बतलाया कि यूरेनियम के खनिजों में जो हीलियम पाई जाती है, वह एल्फा क्षय द्वारा इकट्ठा होती है। उन्नीस सौ सात में बोल्ट वुड (Bolt Wood) ने यह बतलाया कि धरती में पाए जाने वाले रेडियोऐक्टिव तत्वों के धीरे धीरे होने वाले क्षय से यह पता लग सकता है कि यह धरती कब बनी? इसकी चट्टानों का

क्या इतिहास है? उन्होंने उन खनिजों के निर्माण काल का पता लगाया जिसमें यूरेनियम पाया जाता है।

धरती का बनना उस समय प्रारम्भ हुआ जब पिघला हुआ द्रव्य ठोस में परिवर्तित होने लगा था। इसी समय ठोस रवों के भीतर यूरेनियम और थोरियम भी अपना स्थान ले रहे थे। साथ ही मंद गति से इन तत्वों का क्षय भी होने लगा था। मंद गति से क्षय होते-होते कालान्तर में लाखों वर्षों में इन दोनों तत्वों से इतना सीसा (लेड) बन गया कि उसका मापन रासायनिक विधियों द्वारा हो सकता था। पृथ्वी के तापमान और दबाव का रेडियोऐक्टिव क्षय पर कोई भी प्रभाव नहीं पड़ता। इन तत्वों के क्षय का अंतिम उत्पाद सीसा (लेड) है। इस प्रकार अवशेष यूरेनियम अथवा थोरियम और क्षय द्वारा उत्पन्न सीसा की मात्रा नापने पर किसी भी चट्टान के बनने का समय ज्ञात किया जा सकता है।

प्रत्येक रेडियोऐक्टिव तत्व का क्षय होता रहता है। एक निश्चित समय में उसके आधे परमाणु क्षय होकर एक नवीन तत्त्व में बदल जाते हैं। इस समय को उस तत्व की अर्द्ध आयु कहते हैं। क्षय होने वाले नाभिक को जनक (Parent) तत्व और क्षय द्वारा निर्मित नाभिक को दुहिता तत्व (Daughter Element) कहते हैं। यदि किसी समय उपलब्ध जनक परमाणुओं की सख्या को 'पी' से, दुहिता परमाणुओं की सख्या को 'डी' से प्रदर्शित किया जाय तो मूल परमाणुओं की सख्या (P + D) होगी। यदि समय को 't' से और नाभिकीय क्षय स्थिरांक को λ से प्रदर्शित किया जाय तो समय का मान निम्नलिखित व्यंजक द्वारा ज्ञात किया जाता है :

$$t = \frac{2.303}{\lambda} \text{ लघु}_{10} \left(1 + \frac{D}{P}\right)$$

इस व्यंजक का उपयोग तभी हो सकता है जब किसी प्रतिदर्शित्र में जनक नाभिक क्षय होने पर भी बचे रह गए हों और क्षय काल में कोई भी नाभिक न तो नष्ट हुआ हो या उसकी मात्रा बाह्य नाभिकों द्वारा बढ़ गई हो। क्षय होने पर बनने वाले उत्पाद प्रारम्भ में उपस्थित न हों। आयु-निर्धारण की विभिन्न पद्धतियों का वर्णन नीचे किया जा रहा है।

(1) यूरेनियम थोरियम लेड पद्धति

अब हम यहां पर कुछ विशेष खनिज पदार्थ लेकर इस व्यंजक का अनुप्रयोग दिखलाएंगे। उदाहरण के लिए काले मखमली रंग का खनिज समरस्काइट (Samarskite) चुनने पर इसमें

यूरेनियम और थोरियम के अतिरिक्त लेड भी पाया जाता है। इस खनिज के सौ ग्राम भार में लगभग सात ग्राम यूरेनियम और तीन ग्राम थोरियम पाया जाता है। अब प्रश्न उठता है कि जिस चट्टान से समरस्काइट खनिज निकाला गया, प्रारम्भ में उसमें कितना लेड उपलब्ध था।

द्रव्यमान स्पैक्ट्रमिती से लेड का विश्लेषण करने पर लेड के चार समस्थानिक पाए गए हैं जिनका अणु भार 204, 206, 207, और 208 होता है। इनमें से सीसा 204 प्रारम्भ काल से ही उपस्थित था। शेष तीनों समस्थानिक्र 206, 207, 208 क्रमशः यूरेनियम –238, यूरेनियम–235 और थोरियम-232 के क्षय होने के कारण बने। सीसा के अयस्कों से प्राप्त लेड में इन चारों समस्थानिकों की मात्रा स्थिर होती है। अतएव समरस्काइट में यूरेनियम तथा थोरियम के क्षय होने से पूर्व, लेड के यह चारों समस्थानिक उसी अनुपात से मिलने चाहिए, जो साधारण लेड में पाए जाते हैं। प्रत्येक सौ ग्राम समरस्काइट में लेड–204 की मात्रा 0.0004 ग्राम होती है। इसी को आधार मान कर अन्य लेड समस्थानिकों का भार ज्ञात किया जाता है और साधारण लेड से तुलना करके रेडियोऐक्टिव क्षय द्वारा प्राप्त लेड की मात्रा ज्ञात की जाती है।

यूरेनियम, दो नाभिकों यूरेनियम-235 और 238 से बना होता है। इसमें यूरेनियम-238 की अर्द्ध आयु 4.51×10^9 वर्ष और यूरेनियम-235 की अ० आयु 7.1×10^8 वर्ष होती है। थोरियम-232 की अर्द्ध आयु 1.39×10^{10} वर्ष होती है। थोरियम से लेड का समस्थानिक 208 बनता है। थोरियम-232 के क्षय द्वारा केवल 90 प्रतिशत लेड-208 बन पाता है।

यूरेनियम थोरियम लेड पद्धति द्वारा आयु का निर्धारण विशेष समीकरणों द्वारा किया जाता है। इस प्रकार के समीकरणों में लेड के समस्थानिकों के अनुपात का मापन द्रव्यमान स्पेक्ट्रोमीटर द्वारा किया जाता है। यूरेनियम, थोरियम या लेड की मात्रा समस्थानिक तनूकरण पद्धति (Isotope Dilution Technique) द्वारा की जाती है। जिस समय शिला का निर्माण हो रहा था, उस समय उसमें समस्थानिकों के अनुपात का पता लेड के शुद्ध अयस्क गैलीना से ज्ञात किया जाता है। इस पद्धति द्वारा शिला का काल निर्धारित करते समय इस बात का ध्यान रखना पड़ता है कि लेड, यूरेनियम या थोरियम की मात्रा किसी प्रकार घट या बढ़ तो नहीं गई। जब यूरेनियम तथा थोरियम के समस्थानिकों का क्षय होकर लेड बनता है उसी के साथ एल्फा कण भी लगातार निकलते रहते हैं। इन एल्फा कणों की लगातार बमवर्षा होने के कारण रवों में छेद हो जाता है और अन्य रन्ध्रों से होकर यह तत्व खनिज के बाहर निकल आते हैं।

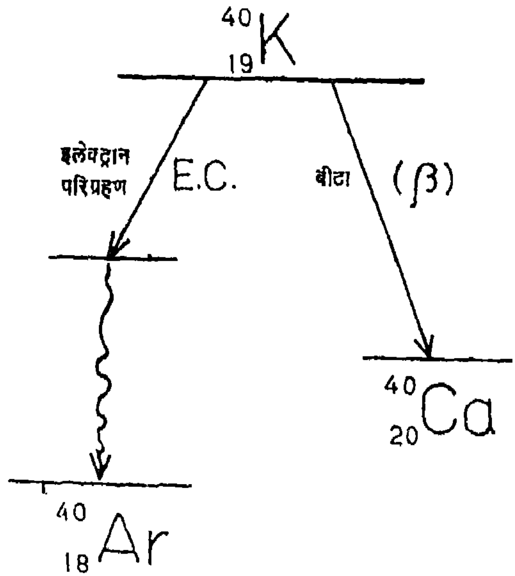
यदि शिलाओं में यूरेनियम उपलब्ध हो परन्तु लेड –204 न पाया जाय तो समय का निर्धारण अन्य प्रकार के समीकरण द्वारा किया जाता है। इस विधि द्वारा शिला की निर्धारित आयु में त्रुटिं की सम्भावना सबसे कम पाई जाती है।

(2) रुबिडियम स्ट्रांसियम पद्धति

रुबिडियम – 87 के क्षय से स्ट्रांसियम–87 बनता है लेकिन स्ट्रांसियम–86 समस्थानिक नाभिकीय क्षय द्वारा नहीं बनता। रुबिडियम–87 की अर्द्ध आयु 4.85 $\times 10^{10}$ वर्ष होती है। अतएव यह मान लिया जाता है कि द्रव पदार्थ से आग्नेय शिलाएँ बनने में इससे कम समय लगा। अतएव इन शिलाओं के बनते समय स्ट्रांसियम–87 और स्ट्रांसियम–86 का जो अनुपात था वह आज भी है क्योंकि इतनी बड़ी अर्द्ध आयु होने के कारण रुबिडियिम और स्ट्रांसियम के परमाणु न तो घटे और न ही बढ़े। इन समस्थानिकों द्वारा शिलाओं के बनने का समय ज्ञात करने के लिए ऐसे समीकरण का प्रयोग किया जाता है जो स्ट्रांसियम–87 और स्ट्रांसियम–86 के अनुपात पर निर्भर करता है। इसमें $^{87}Sr/^{86}Sr$ का मान मासस्पेक्ट्रोमीटर द्वारा निकाला जाता है। $^{87}Rb/^{86}Rb$ का मान समस्थानिक तनूकरण पद्धति से अथवा एक्सरे प्रतिदिप्तमापन द्वारा निर्धारित किया जाता है। यदि $^{87}Rb/^{86}Rb$ और $^{87}Sr/^{86}Sr$ के मानों को ग्राफ द्वारा प्रदर्शित किया जाये तो एक सरल रेखा प्राप्त होगी, जिसे (Isochron) आइसोक्रान कहते हैं। इस विधि द्वारा समकालीन निर्मित खनिजों की आयु का पता उन शिलाओं द्वारा लगाया जाता है जो किसी विशेष द्रवित पिंड से बनी।

(3) पोटेशियम आर्गन पद्धति

पोटेशियम–40 इलेक्ट्रान परिग्रहण द्वारा आर्गन–40 में परिवर्तित हो जाता है। जिन शिलाओं में यूरेनियम पाया जाता है, उन्हीं शिलाओं में पोटेशियम–40 भी पाया जाता है। अतएव इन दोनों विधियों से गणना करके शिलाओं की उत्पत्ति का समय ज्ञात किया जाता है। इस समस्थानिक का उपयोग धरती पर ही नहीं, बल्कि चन्द्रमा की शिलाओं की भी आयु निश्चित करने में किया जाता है। पोटेशियम–40 का क्षय निम्नलिखित ढंग से होता है। इसमें से ग्यारह प्रतिशत क्षय द्वारा आर्गन–40 बनता है और 89 प्रतिशत क्षय द्वारा कैलशियम–40 बनता है। पृथ्वी पर कैलशियम की मात्रा इतनी अधिक पाई जाती है कि उसका मापन विश्वसनीय नहीं है।



चित्र 5 पोटेशियम-40 का क्षय

आर्गन तथा पोटेशियम के समस्थानिकों द्वारा समय (t) निर्धारित करने का अन्य समीकरण होता है।

इसमें आर्गन–40 तथा पोटे) शियम–40 को समस्थानिक तनूकरण पद्धति से और पोटेशियम–40 को परमाणु अवशोषण स्पेक्ट्रोमीटरी या न्यूट्रान सक्रियण द्वारा ज्ञात किया जाता है।

शिलाओं या खनिज पदार्थों को निर्वात में पिघलाया जाता है। इस प्रकार सम्पूर्ण आर्गन गैस निकल जाती है। इसमें आर्गन–38 मिला दी जाती है और आर्गन को परिष्कृत करके मास स्पेक्ट्रामीटर द्वारा $^{40}Ar/^{38}Ar$ और $^{38}Ar/^{36}Ar$ का अनुपात ज्ञात किया जाता है। $^{40}Ar/^{36}Ar$ का अनुपात 295.5 होता है। $^{38}Ar/^{36}Ar$ द्वारा वायुमंडल से प्राप्त आर्गन की मात्रा ज्ञात की जाती है जो ^{40}Ar में मिलती है, और $^{40}Ar/^{38}Ar$ से ^{40}Ar की मात्रा का पता लगाया जाता है।

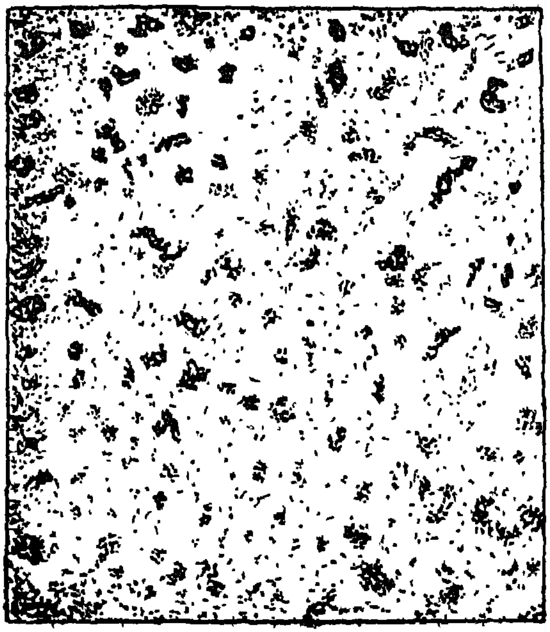
(4) यूरेनियम हीलियम पद्धति

यूरेनियम -238 का प्रत्येक परमाणु दस लाख वर्षों में आठ एल्फा कण निकालता है। इस प्रकार निकले हुए एल्फा कण उन शिलाओं में पड़े रहते हैं, जिनमें यूरेनियम के अयस्क पाए जाते हैं। यदि शिलाओं में यूरेनियम की मात्रा कम हो तो एल्फा क्षय द्वारा बनी हुई हीलियम गैस का दवाब भी कम होता है। इसलिए यह गैस शिलाओं में दबी पड़ी रहती है। यूरेनियम की तुलना में थोरियम छः एल्फाकण निकालता है। शिलाओं में यूरेनियम और थोरियम की मात्रा दस लाखवें भाग से भी कम होने पर भी इनके द्रव्यमान को सरलता से ज्ञात किया जा सकता है। प्रतिग्राम

यूरेनियम या थोरियम से प्राप्त हीलियम द्वारा गणना करके शिलाओं की आयु निर्धारित की जाती है। हालाँकि इसकी प्रमाणिकता संदेहजनक होती है क्योंकि हीलियम का कुछ अंश शिलाओं में से निकल जाता है। लौह उल्का पिंडों की आयु का पता इस विधि द्वारा लगाने पर यह ज्ञात हुआ कि अन्य विधियों से ज्ञात समय की तुलना में, इस विधि द्वारा ज्ञात समय का मान अधिक है। इसका कारण यह है कि उल्का पिंडों से प्राप्त हीलियम में बीस प्रतिशत हीलियम–3 पाया जाता है, जो अंतरिक्ष किरणों द्वारा बनता है, किन्तु रेडियोऐक्टिव यूरेनियम और थोरियम का क्षय होने पर केवल हीलियम–4 प्राप्त होता है।

(5) यूरेनियम विखंडन मार्ग प्रक्रम

यूरेनियम 238 अपने आप विखंडित हो जाता है और इस स्वतः विखंडन की अर्द्ध आयु लगभग 10^9 वर्ष होती है। जब यह समस्थानिक अपने आप विखंडित होता है तब इसके टुकड़ों



चित्र 6 यूरेनियम-विखण्डन मार्ग

द्वारा आस-पास के पदार्थों में चिन्ह बन जाते हैं। जिस मार्ग से गमन करते हैं उस मार्ग पर आयनीकरण हो जाता है, फलस्वरूप वायु में उपस्थित जल वाष्प के कण झलकने लगते हैं या मार्ग में कोई अन्य चिन्ह बन जाते हैं।

उसी स्पैसिमेन को उष्मीय न्यूट्रानों की एक ज्ञात संख्या द्वारा एक निश्चित समय तक किरणीयित किया जाता है। यूरेनियम-235 और 238 में से केवल यूरेनियम-235 विखंडित होता है। इस नवीन विखंडन द्वारा बनने वाले टुकड़ों के मार्गों के चिन्हों की गणना की जाती है इस प्रकार शिला की आयु एक समीकरण द्वारा ज्ञात की जाती है।

आयु निर्धारित करने के लिए जो भी तरीके बताए गए हैं उनसे यह ज्ञात हुआ है कि हमारी पृथ्वी, चन्द्रमा और आकाशीय उल्काएं लगभग एक ही समय बने। इन सबके बनने का समय आज से लगभग 4.6×10^9 वर्ष पूर्व निर्धारित किया गया है। आकाशीय पिंडों से प्राप्त लेड और पृथ्वी और सागरों के तल से प्राप्त लेड के समस्थानिकों के अनुपात द्वारा इस बात की पुष्टि की गई है कि यह सब लगभग एक ही समय में बने थे।

(6) रेडियो कार्बन तिथि-निर्धारण

तिथि निर्धारित करने के लिए जिन उपायों का वर्णन किया जा चुका है उनकी सीमा करोड़ों वर्षों की है, जिस समय हमारी पृथ्वी तथा सौर मंडल की रचना हो रही थी। तिथि निर्धारित करने का दूसरा चरण उस समय प्रारम्भ होता जब धरती पर जीवन का प्रारम्भ हुआ।

द्वितीय विश्व युद्ध के उपरान्त विलर्ड एफ० लिबी ने अपनी गवेषणा द्वारा यह बतलाया कि प्रकृति में मिलने वाले कार्बन के चौदह भार वाले समस्थानिक का उपयोग ऐतिहासिक काल के पदार्थों और अवशेषों के समय निर्धारण में हो सकता है। इस खोज ने विज्ञान और मानविकी को एक साथ प्रयोगशाला में ला दिया। भौतिकी और प्राचीन इतिहास के समवेत से अनेक ऐतिहासिक वस्तुओं के रचना काल का निश्चयन वास्तव में एक महत्वपूर्ण खोज है।

वायुमंडल में पाई जाने वाली नाइट्रोजन गैस और ऊपरी वायुमंडल में ब्रह्मांड किरणों से प्राप्त न्यूट्रानों की पारस्परिक अभिक्रिया द्वारा कार्बन–14 बनता है।

$${}^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{14}_{6}C + {}^{1}_{1}H$$

यह एक रेडियोऐक्टिव समस्थानिक है जिसकी अर्द्ध आयु 5730 वर्ष होती है और इसमें से बीटा कण निकलते हैं। यह कार्बन–14 कार्बन डाइआक्साइड में बदल जाता है, जिसे पेड़ पौधे ग्रहण कर लेते हैं। मनुष्य और पशु उन पेड़ पौधों को खाते हैं और यह उनके शरीर में इकट्ठा हो जाता है। इसकी अर्द्ध आयु इतनी अधिक है कि यह सरलता पूर्वक कार्बन डाइआक्साइड गैस, पानी में घुले हुइ बाइकार्बोनेट और मिट्टी में पाए जाने वाले कार्बन से मिल जाता है। इसलिए प्रतिग्राम कार्बन से एक मिनट में 16.1 विघटन प्राप्त होता है। प्रत्येक वनस्पति तथा जीवित प्राणियों में इसकी सान्द्रता का साम्य बना रहता है। वनस्पति और प्राणियों में जीवन का अन्त हो जाने पर, पर्यावरण में उपस्थित कार्बन–14 ग्रहण करने की क्षमता भी समाप्त हो जाती है और इनमें जो भी कार्बन–14 इकट्ठा हुआ रहता है, वह क्षय द्वारा कम होने लगता है। इस प्रकार कार्बन–14 की सक्रियता से यह पता लगाया जाता है कि कोई पदार्थ कितना पुराना है।

इस विधि की विश्वसनीयता तीन अर्द्ध आयु अथवा लगभग सतरह हजार वर्ष तक मानी जाती है। तिथि-निर्धारण प्रामाणिक है अथवा नहीं? इस प्रश्न का उत्तर मिश्र में सुरक्षित शवों की पेटियों में से कुछ लकड़ी अथवा डेड सी स्क्राल (Dead Sea Scroll) के वस्त्र में से एक टुकड़ा लेकर उनका समय निर्धारित किया गया। परीक्षण द्वारा निर्धारित समय और पुरातत्व वेत्ताओं द्वारा निर्धारित समय एक होने के कारण यह विधि कसौटी पर खरी निकली।

यदि किसी जीवित पदार्थ से, एक ग्राम कार्बन लिया जाय तो इसमें कार्बन–14 द्वारा प्रति मिनट 16.1 विखंडन होता है। कार्बन–14 के बीटा विकिरण की ऊर्जा 0.155 मिलियन इलेक्ट्रान वोल्ट होती है। जीवित वस्तुओं में भी कार्बन–14 की रेडियोधर्मिता की मात्रा कम होती है। इसलिए विशेष प्रकार के गणना करने वाले यंत्र, जिन्हें प्रपोर्शनल या सिन्टिलेशन काउन्टर कहते हैं, प्रयोग में लाए जाते हैं। इन गणना करने वाले यंत्रों को इस प्रकार के परिरक्षणों से ढक दिया जाता है ताकि इनके पृष्ठ-भूमि की रेडियोधर्मिता अत्यन्त कम हो जाए। गैसीय पदार्थ को प्रपोर्शनल काउन्टर से नापा जाता है। यदि कार्बन–14 युक्त पदार्थ द्रव रूप में परिवर्तित कर दिया जाए तो इसके रेडियोधर्मिता की गणना सिन्टिलेशन काउन्टर से की जाती है। कार्बन को ठोस रूप में लेकर तथा एक पतली पर्णिका पर फैला कर गणना करने पर गणना करने की क्षमता कम होती है। कार्बन–14 को गैसीय या द्रव रूप में लाने के लिए निम्नलिखित रसायनिक क्रियाएँ करनी पड़ती हैं। कार्बन–12 तथा कार्बन– 14 युक्त सैम्पुल को लेकर एक नली में गर्म किया जाता है। पहले कार्बन को एक

टार्च से गरम करते है इसके बाद एक विद्युत भट्ठी में गरम करते हैं। इस प्रकार बनी हुई कार्बन डाई आक्साइड को परिष्कृत करके मैगनीशियम द्वारा शुद्ध कार्बन में परिवर्तित किया जाता है। कार्बन डाईआक्साइड की लिथियम के साथ अभिक्रिया करने पर लिथियम कार्बाइड बन जाता है। यह पदार्थ पानी के साथ अभिक्रिया करके एसिटिलीन गैस बनाता है। एसिटिलीन गैस को बेन्जीन (द्रव्य रूप) में परिवर्तित किया जाता है। बेन्जीन एसिटिलीन का बहुलक है। पहले प्रपोर्शनल काउन्टर को इस प्रकार सेट कर दिया जाता है कि रेडियोधर्मिता की प्रति मिनट गणना को प्रति मिनट प्रति ग्राम कार्बन के विखंडन में परिवर्तित किया जा सके। यदि प्रति मिनट एसिटिलीन में उपस्थित कार्बन–14, X विखंडन देता हो तो अर्द्ध आय n को निम्नलिखित समीकरण से प्रकट किया जा सकता है।

$$X = 16.1\,(0.5)^{n}$$

कार्बन युक्त एसीटिलीन को प्रपोर्शनल काउन्टर में भर दिया जाता है। काउन्टर के आयतन तथा गैस के दबाव द्वारा सम्पूर्ण कार्बन की गणना की जाती है और गणना की गति से प्रतिमिनट होने वाले विखंडन का पता लगाया जाता है। गणना गति की संख्या बहुत कम होने के कारण यह गणना चौबीस घंटे की जाती है। त्रुटि को न्यूनतम करने के लिए काउन्टर में भारी परिरक्षण लगाए जाते हैं और काउन्टर के साथ गाइगर (Geiger) ट्यूबों का एक छल्ला विपरीत क्वायन्सीडेंस (Anti-Coincidence) में लगा रहता है। अच्छे से अच्छे काउन्टर में पृष्ठ भूमि की गणना 2.5 होती है।

आजकल कार्बन-14 की सान्द्रता बढ़ा दी जाती है। प्राकृतिक कार्बन में कार्बन–13 तथा कार्बन 12 दोनों पाए जाते हैं। मास स्पेक्ट्रोमीटर द्वारा कार्बन–13/कार्बन –12 का मान 0·0112 होता है। यदि समस्थानिकों की सान्द्रता इतनी बढ़ा दी जाये कि यह संख्या दो प्रतिशत बढ़ जाए तो कार्बन–14 में चार प्रतिशत की वृद्धि हो जायगी और विखंडन की संख्या बढ़कर प्रतिमिनट प्रति ग्राम कार्बन की 64 हो जायेगी। इस प्रकार साठ से सत्तर हजार वर्ष तक पदार्थों की आयु ज्ञात की जा सकती है।

मानव सभ्यता के अनेक चरणों में उत्खनन से प्राप्त कार्बननिक पदार्थों या ऐतिहासिक वस्तुओं का समय निर्धारित किया जा चुका है। उदाहरण के लिए डेड सी (Dead Sea) से उपलब्ध लिखावटों के आवरण का समय दो हजार से बाईस सौ वर्ष के बीच में है। महाराष्ट्र के नवदा टोली नामक स्थान से मिले हुए कोयले का समय लगभग साढ़े तीन हजार वर्ष है। सराय

नाहर राय (उत्तर प्रदेश) से प्राप्त एक मानव अस्थि पंजर का समय दस हजार वर्ष तय किया गया है।

इस विधि द्वारा समय निर्धारित करने में कई कठिनाइयां हैं। समकालीन सीप, घोंघे और लकड़ी को लेकर परीक्षण करने पर सीप, घोंघे में लकड़ी की अपेक्षा दस प्रतिशत रेडियोधर्मिता अधिक होगी। शिलाओं में दबे हुए अथवा उत्खनन से प्राप्त सीप, लकड़ी द्वारा उपलब्ध कार्बन डाई आक्साइड और धरती के नीचे समकालीन जल से प्राप्त कार्बन डाई आक्साइड की रेडियोधर्मिता एक सी नहीं होगी।

(7) ट्रिटियम द्वारा समय निर्धारण

जिस प्रकार कुछ समस्थानिकों से पृथ्वी और इसकी शिलाओं के जन्म का समय ज्ञात किया जाता है और कार्बन-14 द्वारा ऐतिहासिक काल की वस्तुओं की गणना की जाती है, उसी प्रकार पिछले चार पांच दशकों के जल की गणना ट्रिटियम द्वारा की जाती है।

टिट्रियम हाइड्रोजन का एक समस्थानिक है, जिसका भार तीन है। यह रेडियोऐक्टिव होता है और उसकी अर्द्ध आयु 12.33 वर्ष होती है। पृथ्वी पर उपलब्ध 10^{18} ग्राम जल में एक ग्राम ट्रिटियम मिलता है। ट्रिटियम बीटा कण निकालता है और उन बीटा कणों की ऊर्जा 0.018 मिलियन इलेक्ट्रान वोल्ट होती है। इसे नापनों के लिए लिक्विड सिन्टिलेशन काउन्टर प्रयोग में लाया जाता है। अंतरिक्ष किरणों के अथवा पृथ्वी पर पाई जाने वाली रेडियोधर्मिता के कारण काउन्टर में जो गणना मिलती है उसे पृष्ठ-भूमि गणना कहते हैं। इसे कम करने के लिए भारी परिरक्षण लगाए जाते हैं। ट्रिटियम और हाइड्रोजन का अनुपात 10^{-18} है। यदि ट्रिटियम युक्त पानी (HTO) को अलग रख दिया जाये तो क्षय होने के कारण यह अनुपात कम होता जायेगा। तीन अर्द्ध आयु व्यतीत हो जाने पर टि्टियम द्वारा की गई गणना विश्वसनीय नहीं रह जाती। ताप नाभिकीय परीक्षणों के कारण टि्टियम और हाइड्रोजन के अनुपात में भारी परिवर्तन हो जाता है। इसलिए इस विधि की विश्वसनीयता सन्दिग्ध होती जा रही है। इस विधि से यह ज्ञात किया जाता है कि पृथ्वी के भीतर से मिलने वाला पानी वर्षा का है या पृथ्वी के भीतर पहले से पड़ा हुया है।

4

नाभिकीय बिकिरणों का प्राकृतिक साधनों और औद्योगिक प्रक्रमों में उपयोग

परीक्षण के लिए रेडियो ऐक्टिव समस्थानिकों का उपयोग अनेक औद्योगिक इकाइयों में होने लगा है। रासायनिक पदार्थों के निर्माण, कोयला, सीमेन्ट, लोहा, नैफथा आदि उद्योगों में विकिरणों का आश्रय लेना पड़ता है। उदाहरण के लिए यंत्रावयवों का क्षरण, धमन भट्ठियों के भीतर के लेप का विनाश, लगातार चलने वाली मशीनों के भागों की कार्यक्षमता का पता बीटा या गामा विकिरणों द्वारा लगाया जा सकता है। ढलाई से बनी हुई वस्तुओं के भीतर छेद का पता विकिरण द्वारा लगाया जाता है। कारखानों में बनी हुई धातुओं की चद्दरों अथवा प्लास्टिक की बनी हुई वस्तुओं की मोटाई का पता समस्थानिकों से निकले हुए विकिरणों द्वारा किया जाता है। इस प्रकार की जानकारी बहुत थोड़े समय में की जा सकती है। मिट्टी के तेल अथवा पेट्रोलियम जैसे पदार्थों से भरी हुई टंकियों में खाली स्थान नापने के लिए विकिरणों का उपयोग होता है। पृथ्वी के भीतर मिट्टी के तेल या पानी के भंडारों का पता विकिरणों द्वारा लगाया जाता है। पृथ्वी के अन्दर कितनी गहराई पर कौन सा खनिज पदार्थ दबा हुआ है, इसकी जांच नाभिकीय विकिरणों द्वारा सरलता से की जाती है। इन अनुप्रयोगों का संक्षिप्त विवरण यहां पर प्रस्तुत किया जायेगा।

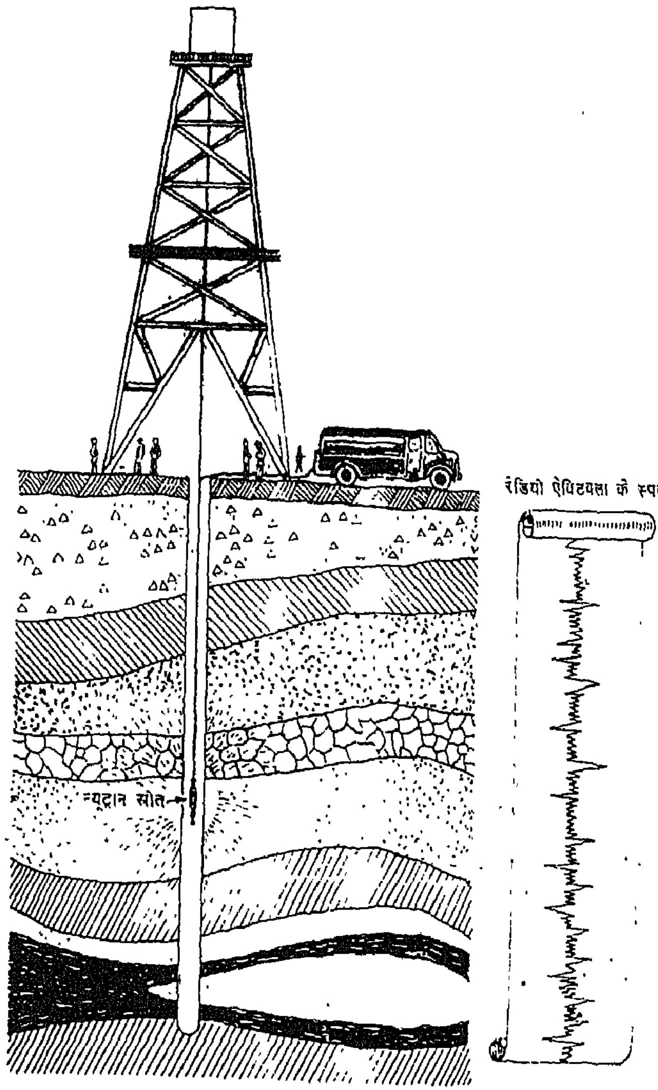
डेल्टाओं और बन्दरगाहों की जाँच

नदियों के डेल्टाओं और बन्दरगाहों में गीली मिट्टी और बालू अवक्षेपित होती रहती है। इनके अवक्षेपण और आगे बढ़ने की गतिओं का पता रेडियोऐक्टिव समस्थानिकों द्वारा लगाया जाता है। यह आवश्यक है कि इन समस्थानिकों की अर्द्ध आयु न तो बहुत कम हो और न बहुत अधिक हो क्योंकि यह परीक्षण कई सप्ताह तक होता रहता है। इन रेडियोऐक्टिव समस्थानिकों की मात्रा अधिक होनी चाहिए और इनसे गामा विकिरण निकलना चाहिए। इस प्रकार के अध्ययन में जिन समस्थानिकों का उपयोग होता है उनके अघुलनशील यौगिक लिए जाते हैं। उदाहरण के लिए स्कैंडियम–46 (अ० आ० 84 दिन) आग्जलैट, या बेरियम–140 (अ० आ० 12.8 दिन) सल्फेट या क्रोमियम 51 (अ० आ० 2708 दिन) आक्साइड में से कोई एक यौगिक लेकर नदी के तल या बन्दरगाह में डाल दिया जाता है। एक नाव के किनारे रेडियोधर्मिता मापी यंत्र लटका कर पानी के अन्दर सर्वेक्षण किया जाता है। इससे मिट्टी या बालू के बहाव अथवा अवक्षेपण की गति का पता लगाया जाता है। इस प्रकार के आंकड़ों से यह निश्चित किया जाता है कि कब मिट्टी निकालकर बंदरगाहों को गहरा किया जाना चाहिए?

भूमिगत जल की गति

इस प्रकार के अध्ययन के लिए ऐसे समस्थानिक लेने चाहिए, जिनमें से मध्यम अथवा उच्च ऊर्जावान बीटा कण निकलते रहते हों। इन समस्थानिकों की अर्द्ध आयु कम होनी चाहिए जिससे जल बहुत दिनों तक प्रदूषित न रह सके। इसके अलावा प्रयुक्त समस्थानिक न तो अवक्षेपित हो सकें और न तो धरती के अन्दर अवशोषित हो सकें। अतएव आयोडीन–131 (अ० आ० आठ दिन), आयोडाइड आयनों के रूप में लिया जाता है। पृथ्वी में एक गहरा छेद करके ये आयन पानी में मिला दिए जाते हैं। इस छेद के आस पास कई छेद करके और समय-समय पर पानी निकाल कर उनकी रेडियोधर्मिता की गणना की जाती है। प्रारम्भ में मिलाई गई रेडियोधर्मिता तथा विभिन्न समय पर प्राप्त रेडियोधर्मिता द्वारा यह ज्ञात होता है कि भूमि के भीतर मिलने वाला पानी किस गति से और किस दिशा में बहता है।

इसी प्रकार खनिज तेल के बहाव और तेल मिलने वाली शिलाओं की रंध्रता का पता भी लग जाता है। समुद्र तट और झीलों में पानी के बहाव का पता उस विधि से लगाया जाता है। समुद्री धाराएँ किस दिशा में किस गति से बहती हैं।



चित्र 7 तैल स्रोतों की खोज

धरती के भीतर जल, तेल तथा अन्य तत्वों की खोज

अनेक तत्वों के ऊपर यथेष्ट संख्या में उपलब्ध न्यूट्रानों की बमवर्षा करने पर बहुत से तत्व रेडियोऐक्टिव हो जाते हैं। रेडियोऐक्टिव हो जाने पर उनमें से जो विकिरण निकलते हैं, उसकी ऊर्जा से इन तत्वों का पता लगाया जाता है। पृथ्वी के भीतर जिस स्थान पर परीक्षण करना होता है उस स्थान पर खुदाई करके एक गहरा छेद बना दिया जाता है। इस छेद में पोलोनियम-बेरिलियम का एक न्यूट्रान सोर्स लटका दिया जाता है। पोलोनियम से लगातार एल्फा कण निकलते हैं। एल्फा कणों और बेरिलियम की अभिक्रिया से न्यूट्रान बनते हैं। इस परीक्षण में प्रति वर्ग सेन्टीमीटर क्षेत्र से प्रति सेकन्ड कम से कम एक करोड़ न्यूट्रान गमन करते रहते हैं। न्यूट्रानों का यह स्रोत धीरे-धीरे धरती के भीतर नीचे चलता जाता है। पृथ्वी के अन्दर विभिन्न गहराइयों पर उपलब्ध तत्व, न्यूट्रानों द्वारा रेडियोऐक्टिव हो जाते हैं। न्यूट्रान स्रोत के साथ-साथ गामा विकिरण की ऊर्जा नापने वाला एक यंत्र भी लगा होता है। बाह्य विकिरणों को रोकने के लिए इस यंत्र को अच्छी तरह परिरक्षित किया जाता है। इस प्रकार विकिरण की ऊर्जा नापकर यह ज्ञात किया जाता है कि किस स्थान पर कौन सा तत्व है। विकिरणों की ऊर्जा मिलियन इलेक्ट्रान वोल्टों में नापी जाती है। मैगनीशियम से 1.37, पोटेशियम से 1.53, क्लोरीन से 2.15 तथा केल्शियम से 3.73 मिलियन इलेक्ट्रान वोल्ट ऊर्जावान गामा विकिरण निकलते हैं। यदि पृथ्वी के भीतर किसी स्थान पर पानी होगा तो वहां पर हाइड्रोजन से 2.3 मिलियन इलेक्ट्रान वोल्ट और आक्सीजन से 6.7 मिलियन इलेक्ट्रान वोल्ट गामा विकिरण प्राप्त होगा। धरती के अन्दर यदि किसी स्थान पर मिट्टी का तेल उपबल्ध होगा तो कार्बन से 4.4 मिलियन इलेक्ट्रान वोल्ट गामा विकिरण मिलेगा। इस प्रकार भूमिगत जल, खनिज तेल तथा अन्य तत्वों का पता लगाया जाता है।

भूगर्भ में दबे हुए वैदूर्य (Beryl) और हीरे की खोज

वैदूर्य, बेरिलियम का एक यौगिक है जिसे बेरिल कहते हैं। यह हरे रंग का पारदर्शी पदार्थ है जो षट कोणात्मक स्फटिक के रूप में पृथ्वी में से निकाला जाता है। यह बहुत मूल्यवान रत्न होता है। कभी-कभी यह बड़े-बड़े स्तम्भों के रूप में पाया जाता है। अतएव इसे निकालते समय यह बात ध्यान में रखनी पड़ती है कि यह टूटने न पाए। बेरिलियम, गामा विकिरण द्वारा न्यूट्रॉन और हीलियम बनाता है। यह नाभिकीय अभिक्रिया इस प्रकार होती है : ${}^{9}_{4}Be + \gamma = {}^{1}_{0}n + 2\,{}^{4}_{2}He$ अतएव बहुत अधिक ऊर्जावान गामा विकिरण प्राप्त करने के लिए एन्टीमनी–124 या

लैंथानम–140 समस्थानिक लिया जाता है। अधिक ऊर्जावान गामा विकिरण से जब न्यूट्रॉन बन जाते हैं तब इनका परिचयन ($^{10}BF_3$) बोरॉन फ्लोराइड द्वारा किया जाता है। न्यूट्रॉनों की गणना करके यह पता लगाया जाता है कि बेरिलियम उपस्थित है कि नहीं।

पृथ्वी के भीतर बैसाल्टिक शिलाओं को अम्बरलाइट भी कहते हैं। उन शिलाओं में कभी-कभी नलियां बनी होती है या उनके आर-पार पतले छेद बने होते हैं। इन नलियों या छिद्रों में हीरा पाया जाता है। इन नलियाँ के चारों और ग्रेनाइट और क्वार्ट्ज मिलते हैं। इन नलियों की रेडियोधर्मिता कम होती है परन्तु क्वार्ट्ज और ग्रेनाइट की रेडियोधर्मिता अधिक होती है। पृथ्वी में गहरा छेद करके इसके भीतर गाइगर मूलर काउन्टर धीरे-धीरे नीचे लटकाया जाता है। ऐसा करने पर कभी-कभी यह देखा जाता है कि रेडियोधर्मिता एकदम कम हो जाती है और जब काउन्टर और नीचे जाता है तब रेडियोधर्मिता बढ़ जाती है। इस सर्वेक्षण द्वारा यह अनुमान लगाया जाता है कि नलिकाओं में हीरा मिल सकता है। यदि एक टन ग्रेनाइट लेकर यूरेनियम पृथक किया जाए तो चार ग्राम यूरेनियम प्राप्त होगा। परन्तु प्रति टन बैसाल्ट में 0.8 ग्राम यूरेनियम मिलता है। इस प्रकार ग्रेनाइट शिलाओं की रेडियोधर्मिता बैसाल्ट की तुलना में पांच गुनी अधिक होती है। इतना ही नहीं बल्कि यदि इन शिलाओं के सर्वेक्षण में ऊपर वर्णित मात्रा से अधिक रेडियोधर्मिता पाई जाये तो निश्चय ही यूरेनियम और थोरियम के यौगिक इन शिलाओं में उपलब्ध होंगे। इस प्रकार हीरे की खोज के साथ-साथ रेड़ियोधर्मिता की सहायता से यूरेनियम और थोरियम का भी पता लगाया जाता है।

घर्षण और अपघर्षण द्वारा यंत्रों का क्षय

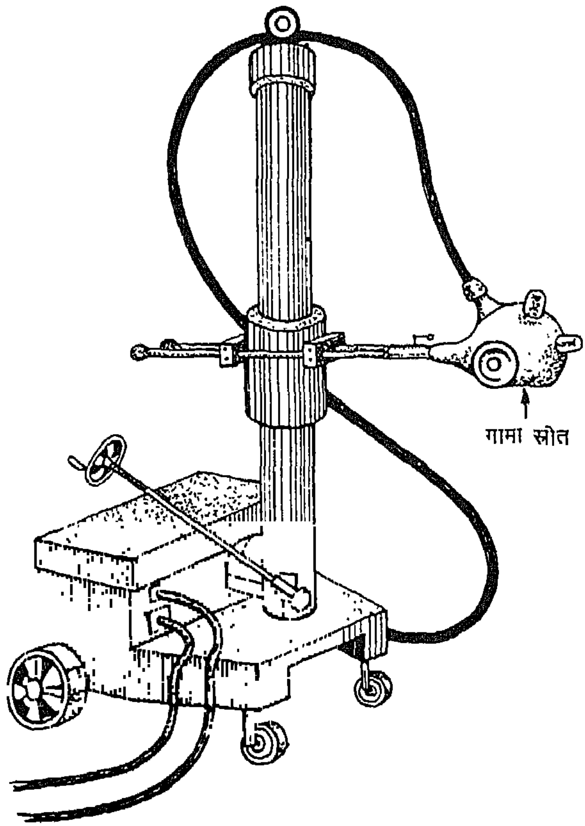
कारखानों में मशीनों के चलने से यंत्रावयवों में पारस्परिक घर्षण होता रहता है। यंत्रों के कल पुर्जे धातुओं या मिश्र धातुओं से बनाए जाते हैं। अतएव तीव्र गति से चलने वाले यंत्रों के कलपुर्जे लगातार घिसते रहते हैं। साथ ही साथ एक तल जब दूसरे तल से रगड़ खाता है तब कुछ पदार्थों का आदान-प्रदान भी होता है। इस प्रकार घर्षण या अपघर्षण द्वारा मशीनों के कल पुर्जों के क्षय को रोकने के लिए ल्यूब्रिकेटिंग पदार्थ प्रयोग में लाए जाते हैं। मशीनों के चलने से उनके अवयवों की कितनी मात्रा क्षय होती है, इसका पता सूक्ष्ममापी विश्लेषण द्वारा नहीं हो पाता। अतएव जिन तलों का आपस में घर्षण होता है उनमें से किसी एक को न्यूट्रानों की बमवर्षा करके रेडियोऐक्टिव बना दिया जाता है। फिर ल्यूब्रिकेटिंग पदार्थ के लेपन के बिना ही मशीन चलाकर इन दोनों तलों को आपस में रगड़ते हैं। इस प्रकार कुछ रेडियोऐक्टिव पदार्थ उस तल में चला जाता है जो पहले से

रेडियोऐक्टिव नहीं था। इस प्रकार स्थानांतरित रेडियोधर्मिता का पता लगाने के लिए तल पर एक फोटोग्राफी की फिल्म चिपका दी जाती है और कुछ समय के उपरान्त इस फिल्म को डेवलप करके सुखा दिया जाता है। इस प्रकार बनाए चित्र को आटोरेडियोग्राफी (Autoradiography) कहते हैं। इन फिल्मों के घनत्व को नापकर यह पता लगाया जाता है कि किसी निश्चित समय में धातु की कितनी मात्रा स्थानान्तरित हुई।

मशीनों के कल पुर्जों में ल्यूब्रिकेटिंग तेल लगाकर उन्हें चालू कर दिया जाता है। एक निश्चित समय के उपरान्त ल्यूब्रिकेटिंग पदार्थ की रेडियोधर्मिता नापकर यह ज्ञात किया जाता है कि यंत्र का एक अवयव दूसरे में कितनी रेडियोधर्मिता स्थानांतरित करता है। इस रेडियोधर्मिता की गणना करके यह ज्ञात किया जाता है कि मशीन के अमुक भाग में कितना पदार्थ क्षय हुआ। साधारणतया मशीनों के कल पुर्जे लोहे के बने होते हैं। न्यूट्रानों द्वारा किरणीयित करने पर यह आयरन–59 में बदल जाता है। आयरन–59 की रेडियोधर्मिता नापकर यह पता लगाया जाता है कि धातु की कितनी मात्रा प्रति घंटे क्षय होती है। क्षय की गति से यह पता लगता है कि मशीनों के कल पुर्जे कितने दिनों तक काम में लाए जा सकते हैं। उदाहरण के लिए मोटर इंजिनों के पिस्टन और छल्ले लीजिए। इनके क्षय होने की गति का पता लगाकर यह तय किया जाता है कि उन्हें मरम्मत के लिए किस समय भेजना आवश्यक है। निश्चित माप के तार बनाने वाली मशीनों में छिद्र बने होते हैं जिनमें से होकर तार बाहर निकलता है। यह छिद्र टंगस्टेन कार्बाइड के बने होते हैं। इनमें से लगातार तार खींचने पर कुछ समय के उपरान्त यह छिद्र बड़े हो जाते हैं। टंगस्टेन को न्यूट्रानों द्वारा रेडियोऐक्टिव बनाकर यह ज्ञात किया जाता है कि कितने समय में तार बनाने वाले छिद्र घिसकर बड़े हो जायेंगे। न्यूट्रॉन सक्रियण द्वारा मशीनों के कल पुर्जों को रेडियोऐक्टिव बना देने पर विकिरण से रक्षा करने के लिए भारी परिरक्षण लगाने पड़ते हैं जिससे कार्य करने वालों के स्वास्थ्य पर किसी भी प्रकार का कुप्रभाव न पड़ सके।

ढलाई और वेल्डिंग का निरीक्षण

मशीनों के ढले हुए भागों की जांच गामा विकिरण देने वाले समस्थानिकों द्वारा की जाती है। गामा विकिरण निकालने वाले समस्थानिकों को कैपस्यूल अथवा टिकियों के आकार में अत्यन्त सुरक्षा पूर्वक बन्द किया जाता है। एक बार बन्द कर देने के उपरान्त इन्हें सरलता से प्रयोग में लाया जाता है। गामा विकिरण देने वाले किसी समस्थानिक में प्रति सेकन्ड 3.7 करोड़ विखंडन होने पर

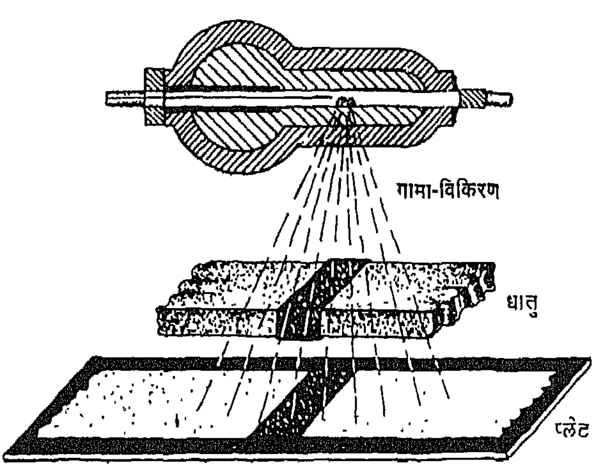


चित्र 8 (अ) धातु संयोजन और ढलाई का परीक्षण करने वाला गामा स्रोत

उसकी सक्रियता को क्यूरी इकाई से प्रदर्शित किया जाता है। ढले हुए पदार्थों की जांच सौ से लेकर एक हजार क्यूरी तक के गामा विकिरण द्वारा की जाती है। विकिरण की इतनी मात्रा स्वास्थ्य के लिए बड़ी हानिकारक होती है। अतएव भारी परिरक्षण द्वारा इसे इतना कम कर दिया जाता है कि इनसे कार्य करते समय स्वास्थ्य की पूरी सुरक्षा हो सके।

गामा विकिरण देने वाले समस्थानिक हैं :

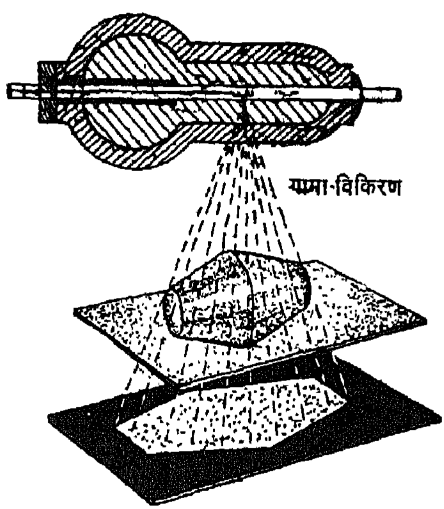
कोबाल्ट– 60, सीजियम– 137, थूलियम– 170 और इरिडियम– 192



चित्र 8 (ब) धातु संयोजन का परीक्षण

किसी ढली हुई वस्तु का निरीक्षण करने के लिए उसके एक ओर गामा स्रोत रखा जाता है इसके विपरीत दूसरी ओर ढली हुई वस्तु से लगभग सटी हुई एक फिल्म रखी जाती है। यह फिल्म गामा विकिरण से प्रभावित होती है। डेवलप करने के उपरान्त यदि फिल्म में किसी स्थान पर अधिक कालापन दिखलाई पड़े तो या तो उस स्थान पर छेद है या ढलाई टूट गई है या कमजोर है। इस प्रकार मशीनों, जहाजों के पुर्जों, पुलों और धातुओं के अन्दर किसी भी प्रकार के छेद अथवा विषमता का पता लगाया जा सकता है (देखिये चित्र 8)।

धातुओं के टुकड़ों को संगलित करके जोड़ने पर धातुओं के असमान वितरण का पता लगाने के लिए गामा स्रोत को एक ओर रख देते हैं और इसके विपरीत दूसरी ओर एक रेडियोऐक्टिव काउन्टर रख दिया जाता है। वेल्ड किए हुए पदार्थ को इन दोनों के बीच में धीरे-धीरे सरकाने पर कभी-कभी विकिरण की मात्रा एकदम बढ़ जाती है। धातु के जिस भाग में इस प्रकार विकिरण वृद्धि होती है, उसमें या तो छेद है या वह भाग कहीं पर कटा-फटा है क्योंकि वेल्ड की गई धातु के जोड़ों में जहां पर कटा-फटा होता है अथवा छेद होते हैं, वहां से विकिरण सरलता से अधिक मात्रा में निकलता है।

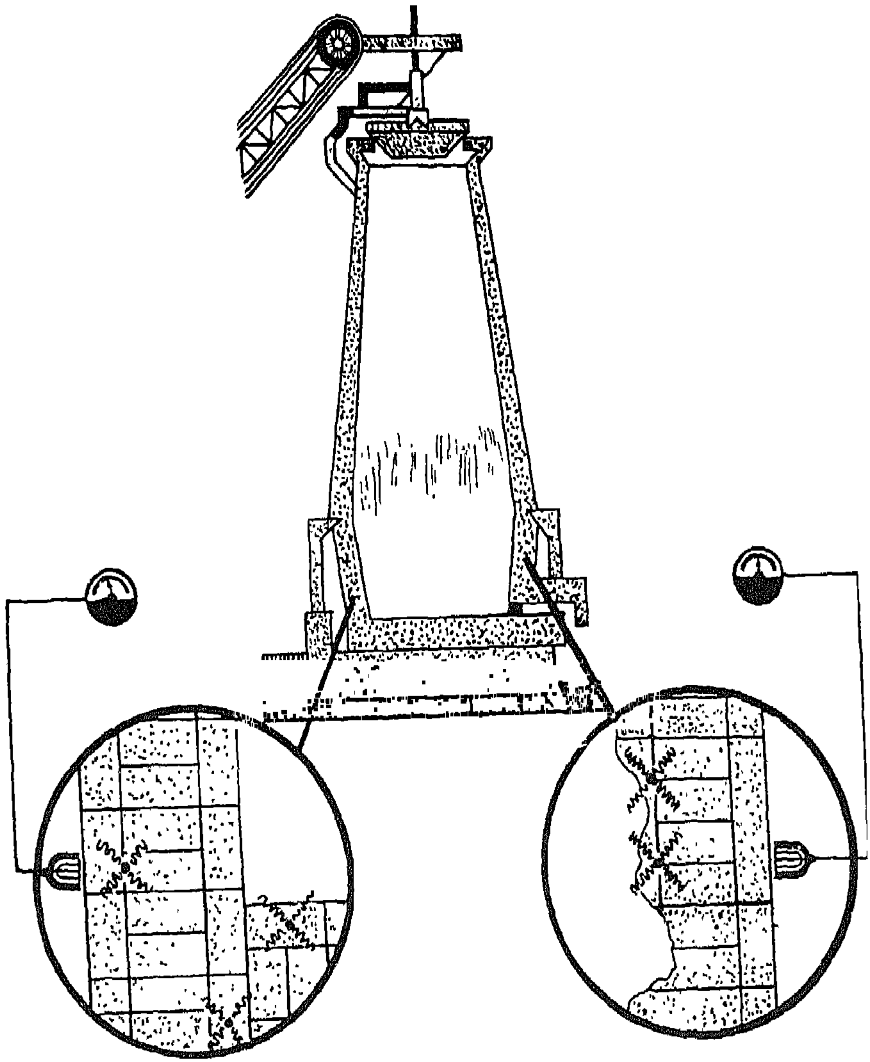


चित्र 9 ढलाई का परीक्षण

जर्मेनियम, सिलिकन आदि अर्धचालक हैं। इलैक्ट्रॉनिक युक्तियां बनाने के लिए इनमें एन्टीमनी जैसे (ग्रुप 5 के) तत्व और एल्यूमिनियम जैसे (ग्रुप 3 के) तत्व बहुत कम मात्रा में अपद्रव्य के रूप में डाले जाते हैं। जर्मेनियम या सिलिकन में ये अपद्रव्य किस प्रकार और कहां वितरित हुए इसका पता दो प्रकार से लगाया जाता है। मिश्र धातु को न्यूट्रान सक्रियण द्वारा रेडियोऐक्टिव बना दिया जाता है, फिर आटोरेडियोग्राफी द्वारा इसका चित्र लेकर यह पता लगाया जाता है कि अधिक मात्रा में ली गई धातु में कम मात्रा वाली धातु का वितरण किस प्रकार हूआ। कभी-कभी कम मात्रा वाली धातु के रेडियो समस्थानिक लेकर उसे अधिक मात्रा वाली धातु में मिलाकर मिश्र धातु बनाई जाती है। इसका चित्र लेकर धातु की रचना ज्ञात की जाती है।

फायर प्रूफ लेपन की जांच

धमन भट्ठियों, सीमेन्ट की भट्ठियों, मैगनीशियम सल्फेट आदि बनाने वाले पात्रों के भीतरी तल पर किसी फायर प्रूफ पदार्थ का लेपन किया जाता है। इन भट्ठियों के भीतर का तापमान बहुत अधिक होता है। इन फायर प्रूफ आवरण के भीतर कई स्थानों पर कोबाल्ट-60 गामा की कुछ मात्रा रख दी जाती है। इसकी रेडियोधर्मिता का पता गणना करने वाले यंत्रों द्वारा किया जाता है। उच्च



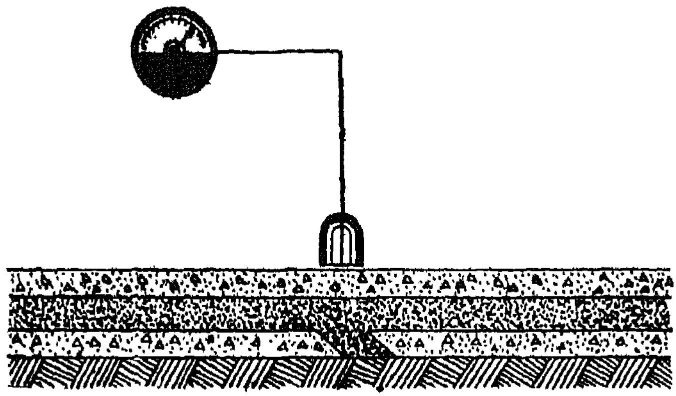
चित्र 10 अग्नि रोधक लेपन की जाँच

तापमान पर जब रासायनिक पदार्थ पिघलते हैं तब कुछ कोबाल्ट– 60 इसमें चला जाता है। और लाइनिंग में रेडियो सक्रियता कम हो जाती है। अन्त में जब रेडियो सक्रियता बहुत ही कम रह जाती है तब भट्ठी के भीतर का आवरण नष्ट हो जाता है और उस पर नए आवरण का लेप किया जाता

कारखानों में रासायनिक पदार्थों के बनाते समय संक्षारण का पता लगाना पड़ता है। इन पात्रों में आवरण लगे होते हैं। यह आवरण जितना मोटा होता है उतना ही अधिक विकिरण का प्रकीर्णन होता है। प्रकीर्णन के लिए गामा विकिरण देने वाले समस्थानिक जैसे कोबाल्ट–60 या सीजियम–137 लिए जाते हैं। आवरण के एक ही ओर गामा विकिरण का स्रोत और प्रकीर्णित विकिरण का पता लगाने वाले यंत्र रखे जाते हैं। स्रोत से निकले हुए विकिरण जब पात्र के आवरण से टकराते हैं तब विकिरण प्रकीर्णित होकर डिटेक्टर पर गिरता है। इस विकिरण को बढ़ाकर अंशांकित (Calibration)करते हैं। पात्र के अन्दर लेप किया हुआ आवरण जितना मोटा होगा उतना ही अधिक विकिरण प्रकीर्णित होगा। अंशांकित करने के बाद समय-समय पर आवरण की मोटाई नापने से यह पता लगता है कि पात्र के अन्दर कितना संक्षारण हुआ(देखिए चित्र 10)।

पानी या तेल की पाइप लाइनों का सर्वेक्षण

पानी ले जाने वाली पाइपों में कभी-कभी छेद हो जाता है या इसमें पतली सी दरार पड़ जाती है। धरती के भीतर डाली हुई इन पाइप लाइनों को खोदकर देखे बिना यह पता लगाया जाता है कि



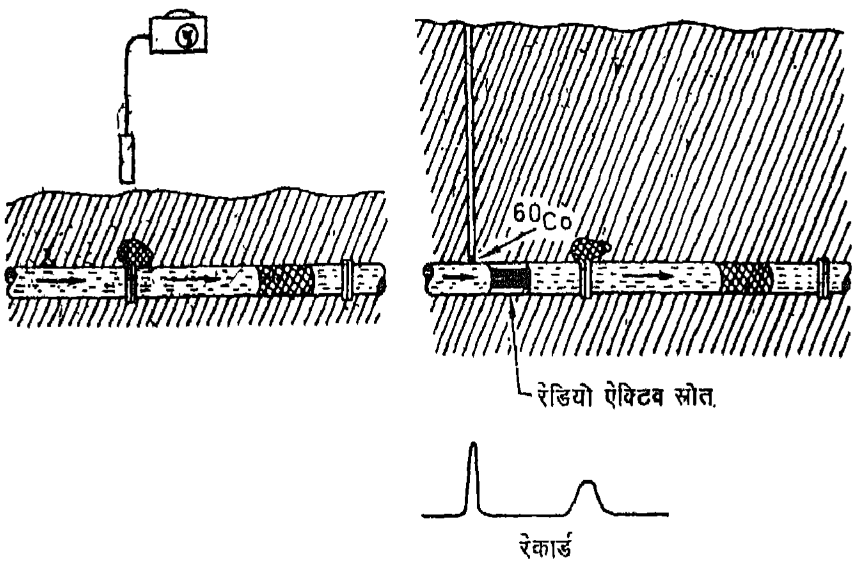
चित्र 11 पाइप में टूट-फूट की जाँच

कहां पर छेद हो गया है या दरार पड़ गई हैं। यह जांच सोडियम–24 द्वारा की जाती है। इस समस्थानिक की अर्द्ध आयु पन्द्रह घंटे होती है और यह गामा विकिरण निकालता है। पाइप के अन्दर सोडियम–24 का एक प्लग डालकर इसे पानी के दबाव द्वारा आगे बढ़ाते हैं। पाइप के ऊपर पृथ्वी पर एक गामा डिटेक्टर चलता रहता है जहां पर पाइप में से पानी बाहर निकलता है वहां पर विकिरण की मात्रा अधिक होती है (चित्र 11)।

यदि पाइप गहराई में डाला गया हो तो यह विधि उपयोग में नहीं आती। ऐसी दशा में पाइप में से पानी निकाल दिया जाता है। इस पाइप में एक बैटरी चालित डिटेक्टर डाला जाता है। इसके साथ एक तार का रेकार्डर भी लगा होता है। पाइप में डिटेक्टर खींचकर आगे बढ़ाया जाता है। इसके आगे कुछ दूरी पर रेडियोऐक्टिव घोल का एक प्लग रखा जाता है। इसे पानी के धक्के से आगे बढ़ाते हैं। कोबाल्ट-60 के स्रोत, पाइप के ऊपर जगह-जगह लगा दिए जाते हैं। रेकार्डर जब पाइप में से होकर आगे बढ़ता है तब पाइप में से पानी निकलने के कारण रेडियोऐक्टिविटी धरती में भी चली जाती है। इसलिए रेडियोऐक्टिविटी रिकार्ड करते समय एक अतिरिक्त रिकार्ड अंकित हो जाता है। इस प्रकार जिस कोबाल्ट–60 के पास यह रिकार्ड प्राप्त होता है उसी के आस-पास खुदाई करके पाइप की मरम्मत की जाती है। तेल की पाइपों में टूट-फूट हो जाने अथवा फट जाने पर पम्प किए गए तेल में एक रेडियोआइसोटोप मिलाया जाता है। इन पाइपों के बाहर एक डिटेक्टर लगा देते हैं जो लगातार आगे बढ़ता जाता है। जिस स्थान पर विकिरण की मात्रा एकदम घट जाती है, उसी स्थान पर पाइप फटा होता है अथवा टूटा होता है।

मिश्रण निर्माण का माप

पेंट और ल्यूब्रिकेटिंग तेल (स्नेहक) आदि के निर्माण में विभिन्न मात्रा में कई पदार्थ मिलाए जाते हैं। इस प्रकार के मिश्रण तभी उपयोगी होते हैं, जब इसके घटक उचित अनुपात में मिश्रित किए गए हों। मिश्रण में आवश्यकता से अधिक कोई भी घटक मिला देने पर समय की हानि और कारखाने की सुविधा का दुरुपयोग होता है। इसलिए पेंट या स्नेहक के किसी घटक में उपलब्ध किसी तत्व के रेडियोऐक्टिव समस्थानिक मिलाकर समय-समय पर प्रतिदर्शक द्वारा मिश्रण की जांच की जाती है।



चित्र 12 भूमिगत पाइपों में टूट-फूट की जाँच

अंतराफलक (Interface) ज्ञात करना

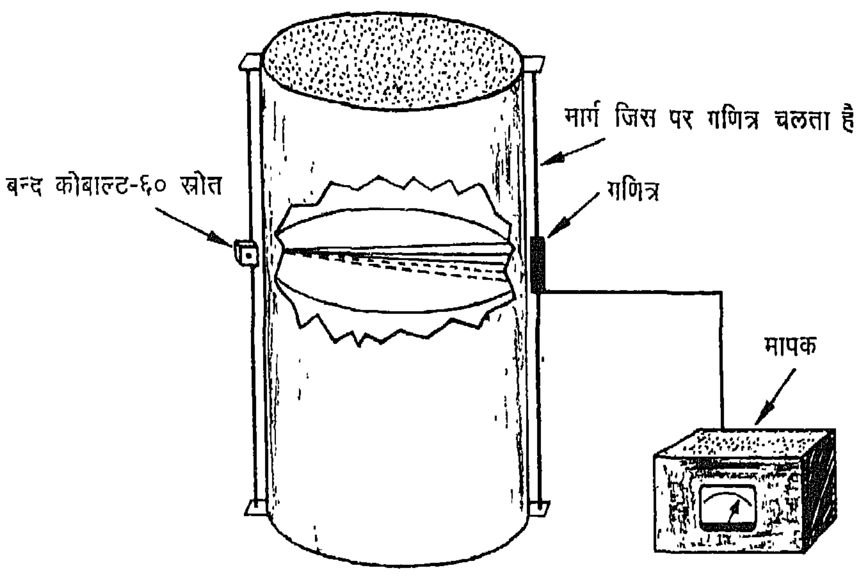
यदि किसी पाइप लाइन में तेल के दो भाग पम्प किए जाएँ तो जिस स्थान पर दोनों तेल मिलेंगे उसको अन्तराफलक कहते हैं। इस स्थान का पता लगाने के लिए ब्रोमीन–82 प्रयोग में लाया जाता है। किसी कार्बनिक यौगिक में यह समस्थानिक संहित होता है। ब्रोमीन–82 की अर्द्ध आयु 35.5 घंटे होती है और इससे गामा विकिरण निकलता है। ब्रोमीन संहित यौगिक तेल में मिलाया जाता है, जिस स्थान पर दोनों तेल मिलते हैं उसका पता पाइप के बाहर एक डिटेक्टर लेकर लगाया जाता है।

तेलों में आंशिक रूप से तैरने वाली गोलियों द्वारा भी इस तल का पता लगाया जाता है। इन गोलियों के भीतर अधिक आयु वाले गामा विकिरण निकालने वाले समस्थानिक बंद रहते हैं। पाइप के ऊपर रखे हुए एक गामा डिटेक्टर द्वारा इन गोलियों का पता लगाया जाता है।

द्रवों के तल की माप

तेल शोधक कारखानों अथवा कास्टिक पदार्थों के बर्तन बिल्कुल बन्द रहते हैं। पाइपों द्वारा

इनमें तेल या क्षार भरा जाता है। यह पात्र दो पटरियों के बीच में रखे रहते हैं। इन पटरियों की दूरी निश्चित होती है। इन पटरियों में से एक पर विकिरण का स्रोत लगा होता है और इसके विपरीत दूसरी ओर की पटरी पर एक डिटेक्टर लगा होता है। स्रोत और डिटेक्टर एक साथ ऊपर की ओर जाते रहते हैं। इस प्रकार ऊपर की ओर जाते-जाते किसी स्थान पर डिटेक्टर द्वारा नापने पर रेडियोधर्मिता बढ़ जाती है। इससे यह पता चलता है कि उक्त तल पर पात्र के भीतर तेल या क्षारीय द्रव नहीं है। इसी विधि से पैकेटों में बन्द चीज़ों का पता लगाया जाता है।



चित्र 13 द्रवों के तल की माप

वेधन और प्रकीर्णन द्वारा जांच

जब कोई विकिरण किसी पदार्थ में से होकर जाता है तब वह पदार्थ विकिरण शोषित कर लेता है। विकिरण के शोषण की मात्रा पदार्थ की मात्रा की मोटाई पर निर्भर होती है। कागज, प्लास्टिक की पतली चद्दरों, धातुओं की पतली चद्दरों और लिनोलियम की मोटाई नापने और एक ही मोटाई की पतली चद्दरें बनाने के लिए बीटा किरणों का उपयोग किया जाता है। स्टील की मोटी चद्दरों के

नाप के लिए गामा किरणें प्रयोग में लाई जाती है। एल्यूमिनियम धातु की रचना ज्ञात करने के लिए थूलियम–170 से निकलने वाले कम ऊर्जावान गामा विकिरण का उपयोग किया जाता है। आधे सेन्टीमीटर से लेकर आठ सेन्टीमीटर मोटी लोहे की चद्दरों के परीक्षण के लिए इरिडियम–92 के गामा विकिरण और पन्द्रह सेन्टीमीटर मोटी स्टील की चद्दरों की मोटाई नापने के लिए कोबाल्ट–60 के गामा विकिरण का उपयोग किया जाता है। लगातार चलने वाली पतली चद्दर के एक ओर बीटा विकिरण रखा जाता है। इसके विपरीत दूसरी ओर बीटा कणों की गणना करने वाला यंत्र लगा रहता है। यदि चद्दरों को वेधन करने वाले बीटा कणों की संख्या को N से, माध्य मुक्त मार्ग (Mean Free Path) को X से और चद्दर की मोटाई को X से प्रदर्शित किया जाय तो निम्नलिखित व्यंजक प्राप्त होगा :

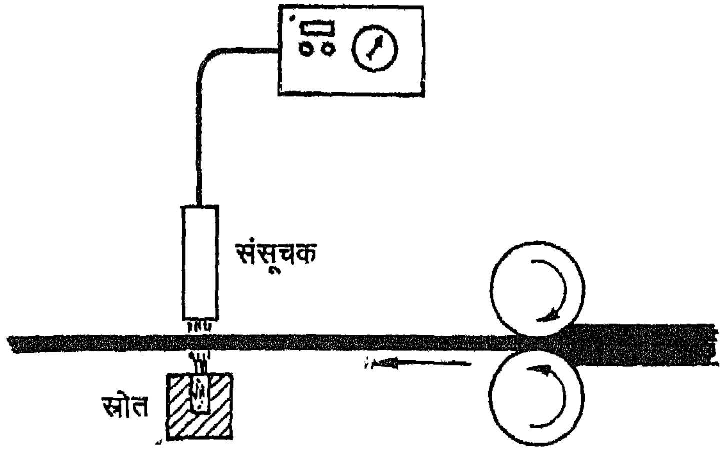
$$N \propto e^{-x/\bar{x}}$$

इस प्रकार की वांछनीय मोटाई वाली चद्दरों में से निकले हुए विकिरण की गणना करने पर यंत्र में एक मिश्रित संख्या होती है। यदि पर्णिका की मोटाई कम होगी तो यह संख्या बढ़ जायगी और यदि मोटाई अधिक होगी तो यह संख्या घट जाएगी। गणना करने वाले यंत्र से एक विद्युत संकेत उस यंत्र को भेजा जाता है जो रोलरों की स्थिति को नियंत्रित करता है। इस प्रकार रोलरों के बीच की दूरी को घटा बढ़ाकर मोटाई नियत्रित रखी जाती है।

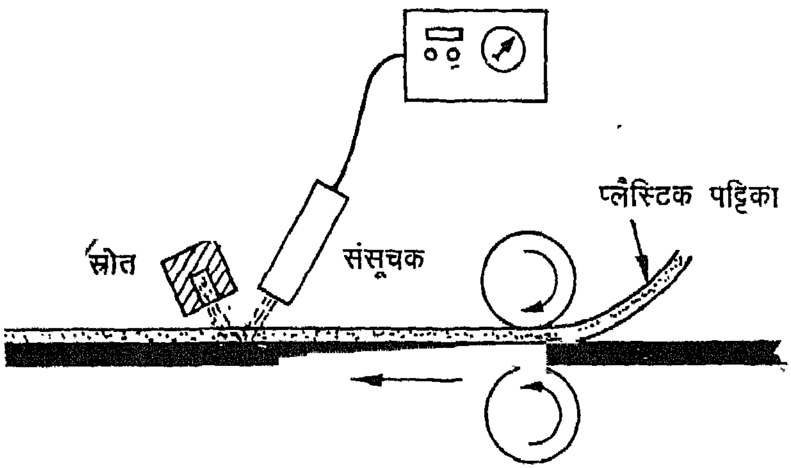
यदि किसी धातु पर प्लास्टिक की कोटिंग करनी हो तो इसकी मोटाई नापने के लिए एक प्रकार का गेज प्रयोग में आता है। जिसमें विकिरण पीछे के तल से प्रकीर्णित होकर डिटेक्टर में जाता है। इस प्रकार नाप के लिए विकिरण और विकिरण की गणना का स्रोत और विकिरण की गणना करने वाला यंत्र एक ही ओर रखे जाते हैं।

सिगरेटों और दवाइयों की गोलियों की गणना

एक पतली पट्टी लगातार घूमती रहती है। सिगरेट अथवा गोलियां इसके ऊपर से चलकर इकट्ठी हो जाती है। जब विकिरण के उद्गम और काउन्टर के बीच में सिगरेट के टुकड़े पर गोलियां आती हैं तब विकिरण की मात्रा घट जाती है। इसे अपने आप पैकिंग करने वाली मशीन से जोड़ दिया जाता है। इस प्रकार मशीन अपने आप गणना करके सिगरेटों या गोलियों की एक निश्चित संख्या पैक कर देती है।

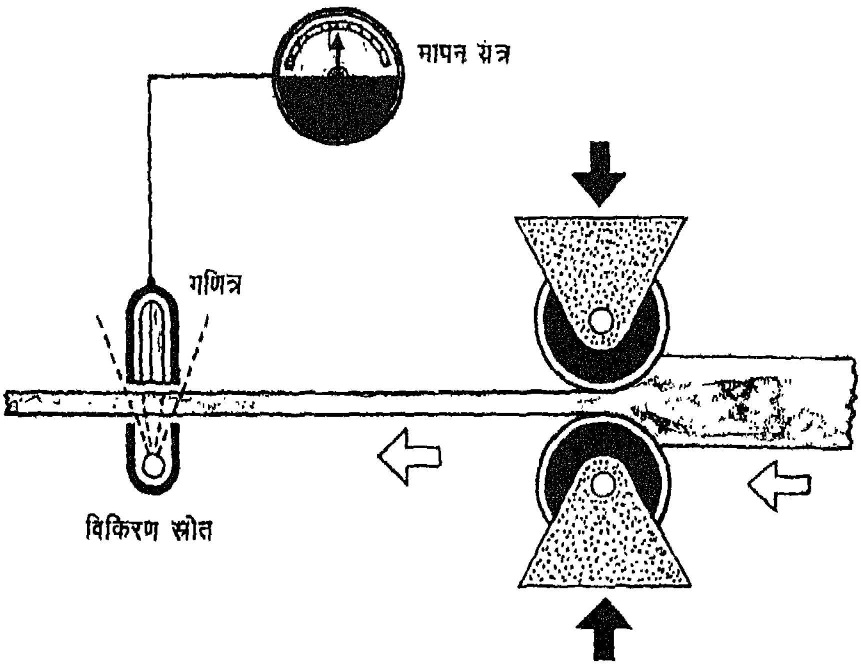


(अ)



(ब)

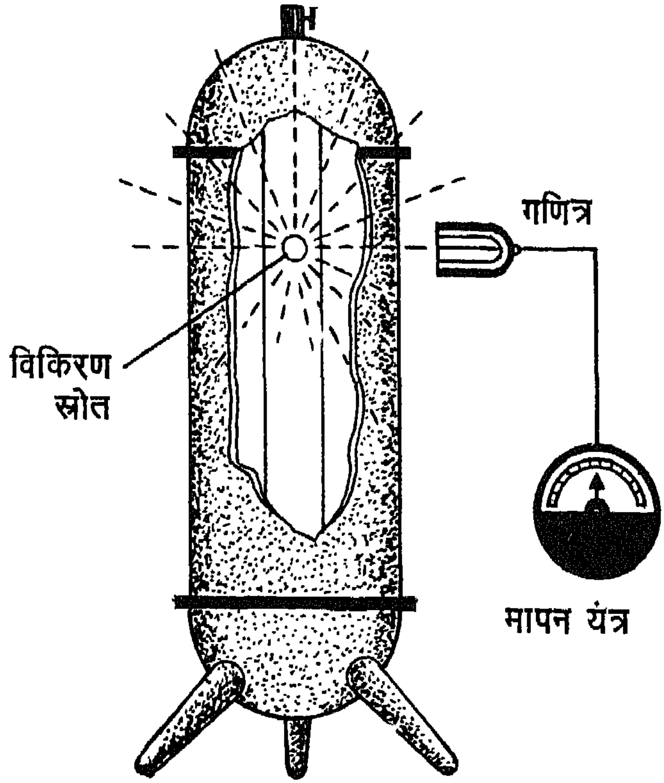
चित्र 14 वेधन और प्रकीर्णन द्वारा जाँच



चित्र 15 सिगरेटों और टिकियों की गणना

द्रव पदार्थ की गति नापना

जिस पाइप में से होकर द्रव पदार्थ बहता है उसमें एक चक्की रख दी जाती है जिसमें ब्लेड लगे होते हैं। किसी एक ब्लेड पर रेडियोऐक्टिव पदार्थ रखा जाता है। गाइगर मुलर काउन्टर तथा विकिरण के उद्‌गम के बीच सीसे का विशेष प्रकार से बना हुआ टुकड़ा रख दिया जता है। जब द्रव नली में बहता है तब चक्की अपने आप घूमने लगती है। सीसे के टुकड़े के कारण विकिरण काउन्टर तक नहीं पहुंच पाता एक चक्कर लगाने पर केवल एक बार विकिरण काउन्टर में जाता है। चक्की प्रति सेकन्ड कितनी बार घूमती है। इसके द्वारा पदार्थ की गति ज्ञात की जाती है।



चित्र 16 द्रव की गति नापना

स्टील में गन्धक की खोज

स्टील के बनते समय उसमें गंधक दो प्रकार से आ जाती है। खनिज पाइराइट में से अकार्बनिक गन्धक तथा कोक में से कार्बनिक गन्धक स्टील में चली जाती है। धातु कर्म की दृष्टि से स्टील में गंधक अवांछनीय पदार्थ है। अतएव गन्धक के उद्‌गम का पता लगाने के लिए रेडियोऐक्टिव गन्धक का उपयोग होता है। रेडियोऐक्टिव गंधक युक्त पाइराइट की थोड़ी सी मात्रा लेकर कोक में मिला दी जाती है। कोक में अकार्बनिक गन्धक के साथ कार्बनिक गन्धक का

अनुपात उतना ही होता है जितना कि उस कोयले में होता है जिससे कोक प्राप्त किया जाता है। स्टील में रेडियोधर्मिता होने पर यह निष्कर्ष निकलता है कि उसमें उपलब्ध गन्धक पाइराइट से कितनी आई है।

धातुओं का स्वतः विसरण

धातुओं में रेडियोऐक्टिव समस्थानिकों का विसरण दो प्रकार से होता है। या तो समस्थानिक अपने आप धातु में विसरित हो जाते हैं अथवा अन्तर्वेधन द्वारा धातु के पिंड में चले जाते हैं। उदाहरण के लिए तांबे का एक समतल पिंड लेकर विद्युत अपघटन द्वारा रेडियोऐक्टिव तांबे की एक पतली सी पट्टी इस पर निक्षिप्त की जाती है। इस तांबे के पिंड को गरम करके और भारी दाब द्वारा दबाने के बाद उसके तल पर से एक-एक करके तांबे को कई बार छील लेते हैं। इसके उपरान्त क्रमशः छिले हुए तांबे की रेडियोधर्मिता नाप कर विसरण का पता लगाया जाता है।

उद्योग धन्धों में प्रक्रम नियंत्रण (Process Control) की अनेक घटनाओं की जांच रेडियो समस्थानिकों द्वारा होती है। धातुकर्म में खनिज पदार्थों के प्लवन (Floatation) तलों के आर्द्रण (Wetting) और स्नेहन (Lubrication) विद्युत लेपनों की मोटाई और गैसों और ठोसों की गति का अध्ययन भी रेडियोऐक्टिव समस्थानिकों द्वारा किया जाता है।

5

आयुर्विज्ञान में नाभिकीय विकिरणों के अनुप्रयोग

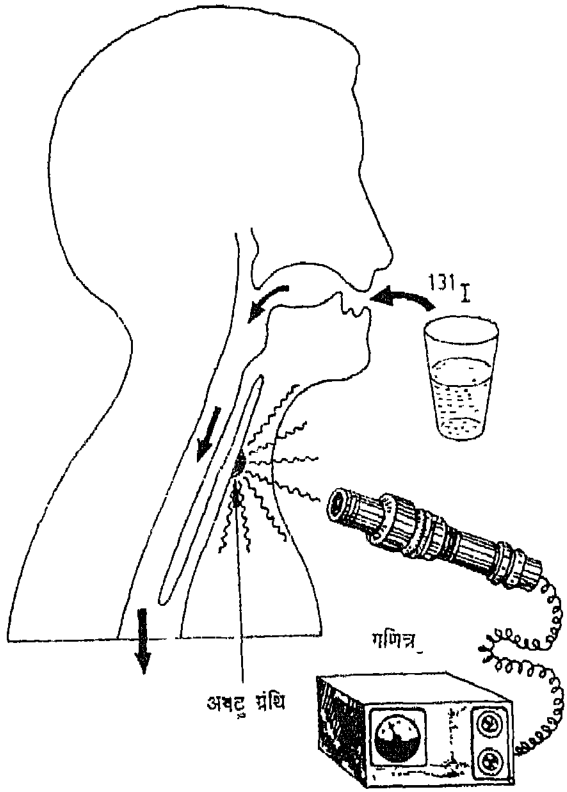
एक्सरे के आविष्कर्ता रांजेन बेरियम प्लैटिनो सायनाइड द्वारा लेप की गई प्लेट पर अपने हाथों की अस्थियों का चित्र देखकर आश्चर्य चकित रह गए थे। शरीर के अंगों पर एक्सरे डाल कर प्लेट पर उसका चित्र लेने पर यह देखा गया कि प्लेट पर कुछ भाग अधिक काला दिखलाई पड़ा और कुछ भाग हल्का सफेद दिखलाई पड़ा। इसका कारण यह था कि ऊतक (Tissues) न तो विकिरण को प्रकीर्णित करते हैं और न ही अवशोषित करते हैं। अतः प्लेट में दर्शित कालिमा ऊतकों में से बाहर जाने वाली एक्सरे के कारण होती है। अस्थियों जैसे घने पदार्थों को वेधकर एक्सरे बाहर नहीं जा सकती अतएव इस अपारदर्शिता के कारण प्लेट पर अस्थियों का चित्र हल्का श्वेत दिखलाई पड़ता है। जठरांत्र प्रदेश का एक्सरे चित्र लेने के लिए रोगी को बेरियम सल्फेट पिलाया जाता है। बेरियम सल्फेट एक्सरे को आर पार नहीं जाने देता। अतएव यदि एक्सरे प्लेट में किसी स्थान पर जठरांत्र संकुचित हो तो इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि उक्त स्थान पर किसी प्रकार का अवरोध है। रेडियोधर्मिता के आविष्कारक हेनरी बेकरल अपनी जेब में रेडियम रखते थे इसके कारण उनकी त्वचा जल गई और इस प्रकार विकिरण से होने वाले कुप्रभाव का अध्ययन प्रारम्भ हुआ। इसी प्रकार रेडियो समस्थानिकों का उपयोग सबसे पहले चिकित्सा और जैव रसायन के क्षेत्र में उपापचय (Metabolism) के अध्ययन में किया गया। आज आयुर्विज्ञान के क्षेत्र में इनके

अनुप्रयोग दिन प्रतिदिन इतने बढ़ते जा रहे हैं कि ऐसा प्रतीत होता है कि कालांतर में कुशल प्रशिक्षित विशेषज्ञों के हाथों में इनके द्वारा निदान और उपचार की सम्भावनाएँ असीमित हो जायेंगी। रेडियो समस्थानिकों द्वारा अनेक रोगों का निदान और उपचार सरलता पूर्वक होने लगा है। शरीर के भीतर कोशिकाएं किस प्रकार बढ़कर अर्बुद (Tumour) बनाती हैं और प्राणघातक कैंसर का रुप ले लेती हैं। अनेक शारीरिक प्रक्रियाएं जैसे अवटुग्रंथि (Thyroid Gland) विकार, कोशिकाओं और ऊतकों का क्षय, रक्त हीनता और रक्त श्वेताणु-मयता, त्वचा के रोग, रक्त प्रवाह अवरुद्ध होना, आदि के विषय में आवश्यक जानकारी प्राप्त करने के लिए रेडियो समस्थानिकों का उपयोग बढ़ता जा रहा है। मनुष्य, पशु तथा वनस्पतियों में होने वाली प्रक्रियाओं का पता लगाने के लिए ऐसे रेडियोऐक्टिव समस्थानिकों का चयन किया जाता है, जिनकी अर्द्ध आयु अल्प होती है और इनका प्रयुक्त द्रव्यमान भी अति सूक्ष्म होता है। यह रेडियो समस्थानिक रासायनिक यौगिकों के रूप में लिए जाते हैं। जैविक प्रक्रियाओं में इनका योगदान, इनके मार्गों का निर्धारण, स्थान विशेष पर इनका एकत्र होना और इनसे संश्लेषित पदार्थों का परिचयन गणक उपकरणों द्वारा किया जाता है। शरीर में औषधियाँ किस प्रकार कार्य करती हैं? धमनियों और शिराओं में रक्त प्रवाह वैसे अवरुद्ध होता हैं? शरीर के अन्दर ऊतकों का क्षय कैसे होता है? इन को समझने के लिए रेडियो समस्थानिक अत्यन्त उपयोगी सिद्ध हुए हैं? इन सबको समझने के लिए रेडियो समस्थानिकों में से आयोडीन-131, फासफोरस-32, क्रोमियम-51, सोडियम-24, आयरन-59, गोल्ड-198 और टेक्नीशियम-94 (मित स्थायी) का उपयोग बहुत अधिक होता है।

अवटुग्रंथि का उपचार

शारीरिक वृद्धि और समुचित उपापचय के लिए आयोडीन एक आवश्यक तत्व है। यह भोजन में से प्राप्त होता है और अवटुग्रंथि में अधिक मात्रा में पाया जाता है। यह ग्रंथि गर्दन के निचले भाग में स्थित होती है और रक्त में से आयोडीन ले लेती है। यह आयोडीन प्रोटीन के साथ एक यौगिक बनाती है। यह ग्रंथि जब अपना कार्य अधिक तीव्र गति से करती है या शिथिल हो जाती है तो दोनों दशाओं में घातक परिणाम हो सकता है। सोडियम आयोडाइड में अंकित आयोडीन- 131 लेकर एक गिलास संतरे के रस में मिला कर परीक्षण वाले रोगी को पिला दिया जता है। आयोडीन-131 की सक्रियता एक क्यूरी के दस लाखवें भाग के बराबर होती है। अवटुग्रंथि से

लगभग आधे मीटर की दूरी पर गामा विकिरण मापी एक सिन्टिलेशन काउन्टर रख दिया जाता है। प्लास्टिक से निर्मित एक अवटुग्रंथि में उतना ही ऐक्टिव सोडियम आयोडाइड अंतर्क्षिप्त किया जाता है और गामा विकिरण नापने वाला गणित्र आधे मीटर दूर पर रख दिया जाता है। विकिरणों की गणना प्रथम छः घंटों तक प्रति घंटे के हिसाब से की जाती है। इसके उपरान्त यह समय बढ़ा दिया जाता है। कृत्रिम ग्रंथि और मानवीय ग्रंथि की गणनाओं का प्रतिघंटा औसत निकाल कर इस बात की विवेचना की जाती है कि ग्रंथि किस प्रकार कार्य करती है। यदि इन गणनाओं का औसत स्वस्थ मनुष्य की तुलना में अधिक होता है तो यह ग्रंथि तेजी से कार्य करती है। यदि यह औसत कम होता

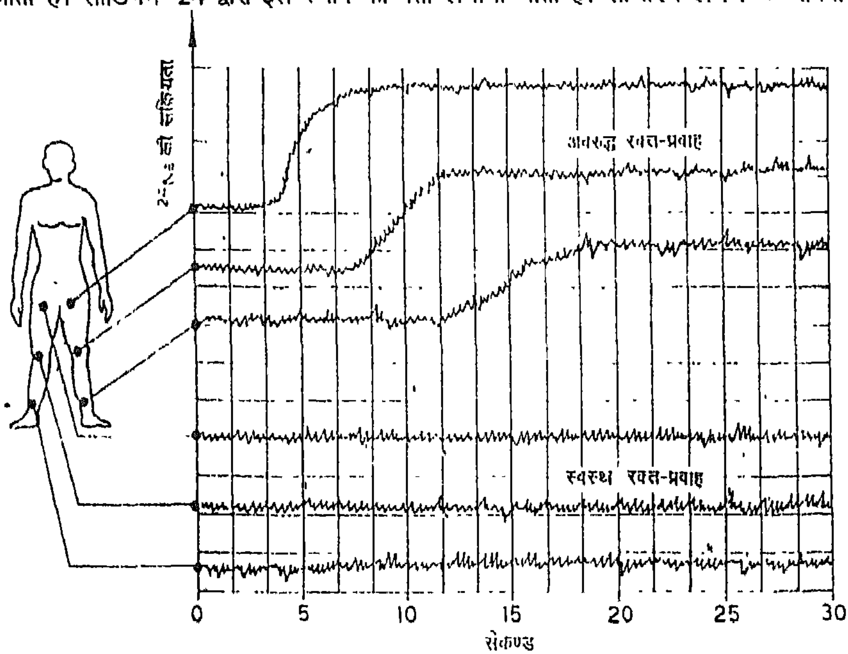


चित्र 17 अवटुग्रंथि का निदान

है तो ग्रंथि धीरे-धीरे कार्य करती हैं। इन परिस्थितियों में आटो रेडियोग्राफ द्वारा ग्रंथियों का चित्र लेने पर यह पता लग जाता है कि उनमें किस प्रकार का दोष है। ग्रंथि दोष का पता लग जाने पर आयोडीन–131 अथवा–126 द्वारा यह ग्रंथि दोष नष्ट किया जाता है। विकिरणी चित्रण (Autoradiograph) से उपचार की प्रगति का पता लगता रहता है। ग्रंथि दोष दूर करने वाले समस्थानिकों की सक्रियता एक क्यूरी के बीस हजारवें भाग के बराबर होती है। आजकल आयोडीन के स्थान पर मितस्थायी टेकनीशियम–94 को वरीयता दी जाती है। इसकी अर्द्ध आयु और गामा विकिरण की ऊर्जा, आयोडीन की तुलना में कम होती है। साथ ही साथ यह तत्व आयोडीन की तरह रासायनिक प्रक्रियाएँ भी करता है।

रक्त संबंधी खोज

कभी-कभी मनुष्य के शरीर में किसी स्थान पर रक्त जम जाता है और रक्त प्रवाह अवरुद्ध हो जाता है। सोडियम–24 द्वारा इस स्थान का पता लगाया जाता है। साधारण लवण में अंकित



चित्र 18 रक्त संचार की जाँच

सोडियम–24 का विलयन बनाकर भुजाग्र की नस में अंतर्क्षिप्त कर दिया जाता है। यह समस्थानिक लगभग एक घंटे में सारे शरीर में फैल जाता है। इसके विकिरण की गणना करने के लिए गाइगर मुलर गणित्र लिया जाता है। पैरों पर स्थित कई स्थानों से निकलने वाले विकिरण की गणना की जाती है। यदि रक्त संचार स्वस्थ मनुष्य के शरीर में हो तो धीरे-धीरे यह गणना बढ़ती है और कुछ घंटों के उपरान्त,बढ़कर स्थिर हो जाती है। विकिरण गणनांक न बढ़ने पर या कम होने पर यह निष्कर्ष लगाया जाता है कि शरीर में कहीं न कहीं रक्त प्रवाह अवरुद्ध हो रहा है। अतएव अवरोध नष्ट करने वाले औषधियों द्वारा उपचार की प्रगति का पता भी लगाया जाता है। गणना द्वारा रक्त प्रवाह नापकर औषधियों की क्षमता और प्रभाव का पता लगाया जाता है।

शरीर में रक्त का आयतन ज्ञात करना

स्वस्थ मनुष्य के शरीर में पांच से छः लीटर तक रक्त होता है। कभी-कभी रक्त में श्वेतोणुकता अधिक हो जाने अथवा दुर्घटना होने पर अधिक रक्त स्राव के कारण मनुष्य के शरीर में कम रक्त रह जाता है। ऐसी स्थिति में यह आवश्यक है कि शरीर में अवशेष रक्त का आयतन निकाला जाए। इस कार्य के लिए सोडियम–24 क्लोराइड या सोडियम आयोडाइड–128 या 131 लेकर एक घन सेन्टीमीटर रक्त में मिलाया जाता है। इसका दशमांश लेकर इसकी रेडियोधर्मिता S_i तुरन्त नापी जाती है। अब 0.9 घन सेन्टीमीटर रक्त (Y) लेकर इसे शिरा में उत्क्षेपित कर दिया जाता है। पन्द्रह मिनट में यह रक्त शरीर में सब जगह पहुंच जाता है और समांग हो जाता है। इसके उपरान्त शरीर में से एक घन सेन्टीमीटर रक्त निकालकर इसकी विशिष्ट सक्रियता S_f ज्ञात की जाती है। यदि शरीर में स्थित सम्पूर्ण रक्त का आयतन x हो तो निम्नलिखित व्यंजक द्वारा इसका मान निकाला जाता है:

$$Y S_i = (x + Y) S_f$$

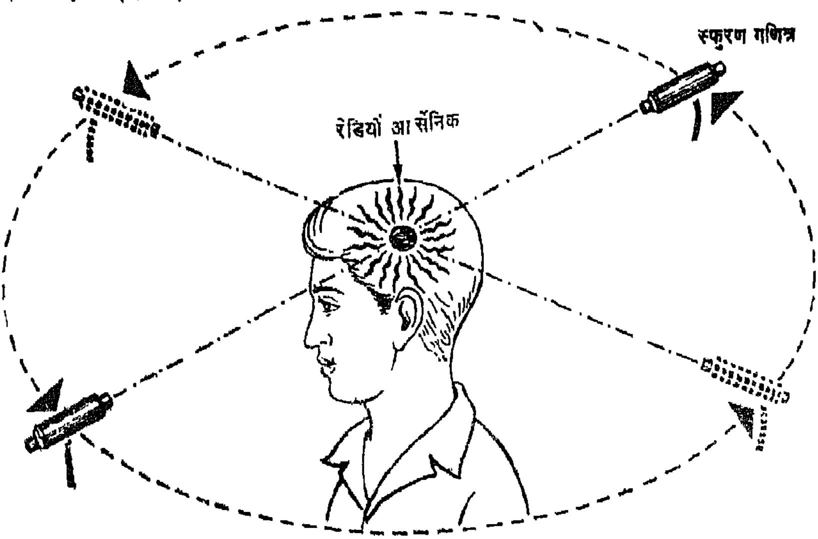
$$= x S_f \quad \text{क्योंकि } (Y << x)$$

अतः $$x = Y \frac{S_i}{S_f} \quad \text{घन सेन्टीमीटर}$$

मस्तिष्क के अर्बुद का स्थान ज्ञात करना

मनुष्य के शरीर में होने वाली जटिल जैविक और रासायनिक प्रक्रियाओं का अध्ययन रेडियोऐक्टिव कार्बनिक पदार्थों द्वारा किया जाता है। इनके गमन पथ और गंतव्य स्थान का पता

इनकी रेडियोधर्मिता से ज्ञात किया जाता है। कुछ रेडियो समस्थानिक शरीर के अन्दर स्थान विशेष पर एकत्र हो जाती हैं। इस गुण के आधार पर कैंसर तथा अर्बुदों का पता लगाया जाता है। रेडियो समस्थानिक आर्सेनिक–74 मस्तिष्क के अर्बुद में इकट्ठा होता है। इससे दो गामा विकिरण निकलते हैं। इसका स्थान निर्धारित करने के लिए दो सिन्टिलेशन काउन्टरों को एक दूसरे से जोड़कर इस प्रकार रखा जाता है कि वह गामा विकिरण की गणना कर सकें। जिन स्थानों में रखने पर यह गणित्र गामा विकिरणों की गणना करने लगते हैं, काउन्टर के प्रत्येक जोड़े की धुरी से सरल रेखाएँ खींचने पर, यह दोनों रेखाएँ जिस स्थान पर एक दूसरे को काटेंगी, उसी स्थान पर अर्बुद स्थित होगा (देखिए चित्र 19)।

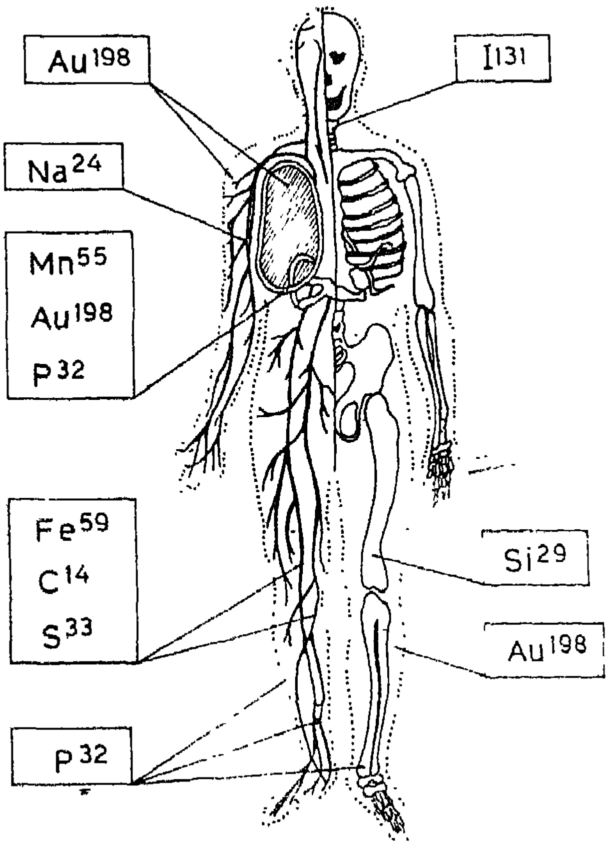


चित्र 19 अर्बुद की जाँच

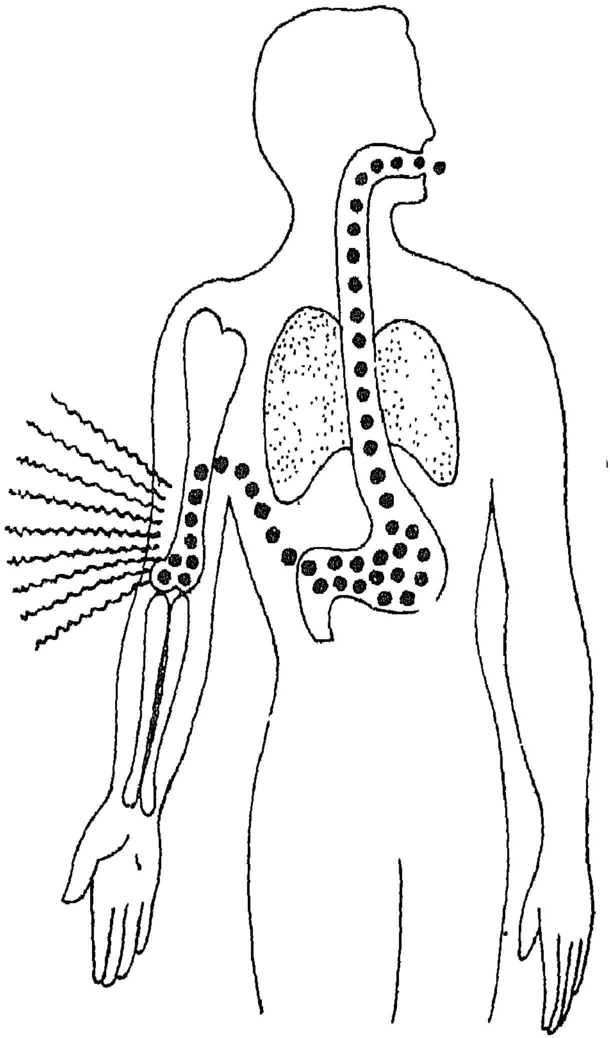
समस्थानिकों द्वारा निदान

रेडियो समस्थानिकों द्वारा मनुष्य के शरीर के भीतर विभिन्न अंगों में होने वाली प्रक्रियाओं का पता लगाया जाता है। मनुष्य के भोजन में उपलब्ध, कुछ पदार्थों को रेडियो समस्थानिकों से अंकित करके खिला देने पर उनके गमन पथ और एकत्र होने के स्थान का पता गणित्रों द्वारा किया जाता है। उदाहरण के लिए खाद्य पदार्थों में रेडियो कैलशियम और रेडियो फासफोरस अंकित करके खिलाने

पर, यह दोनों तत्व अस्थियों के ऊपर इकट्ठा होते हैं। रेडियो समस्थानिकों के उपयोग का आधार यह है कि ये शरीर के विभिन्न भागों में विशेष स्थान पर एकत्र हो जाते हैं। स्वर्ण–198, हृदय और शिराओं में, लोह–59, कार्बन– 14 तथा गन्धक– 33, धमनियों और शिराओं में, फासफोरस–32, अस्थियों, धमनियों और त्वचा पर, सिलिकान–29 अस्थियों पर आयोडीन–131 थायरायड ग्रंथि पर एकत्र होते हैं। इनके द्वारा यह पता लगाया जाता है कि स्वस्थ और रोगी मनुष्य के शरीर में होने वाली प्रक्रियाओं में क्या अन्तर होता है?



चित्र 20 (अ) समस्थानिकों द्वारा निदान



चित्र 20 (ब) समस्थानिकों द्वारा निदान

रक्त की लाल कोशिकाओं की औसत आयु

रक्त में प्राप्य हीमोग्लोबिन नामक पदार्थ, हीमिन और ग्लोबिन नामक प्रोटीनों से बनता है। हीमोग्लोबिन शरीर में फेफड़ों से आक्सीजन लेकर उसे उन स्थानों पर पहुंचाता है जहां आक्सीजन की आवश्यकता होती है। हीमिन बनाने के लिए पारफिरिन नामक यौगिक लिया जाता है, जिसमें नाइट्रोजन उपस्थित होती है। आयरन का अणु इसके साथ एक संकर यौगिक बनाता है। यही यौगिक हीमिन में पाया जाता है। पारफिरिन में मिलने वाला नाइट्रोजन ग्लाइसीन नाम एमिनों एसिड द्वारा प्राप्त होता है। मनुष्य को नाइट्रोजन 15 युक्त ग्लाइसीन कई दिन खिलाया जाता है। इसके उपरान्त समय-समय पर उसके शरीर में से रक्त निकालकर हीमिन पृथक किया जाता है। इसमें उपस्थित नाइट्रोजन 15 की मात्रा द्रव्यमान स्पेक्ट्रोमीटर द्वारा निकाली जाती है। परीक्षण द्वारा यह पता लगाया गया कि नाइट्रोजन 15 हीमिन में एक गति से पच्चीस दिनों तक बढ़ती है और इसके उपरान्त आगामी अस्सी दिनों तक इसमें किसी भी प्रकार का परिवर्तन नहीं होता। इसके पश्चात यह घटने लगती है।

इस परीक्षण द्वारा यह ज्ञात किया गया कि शरीर के भीतर ग्लाइसीन पच्चीस दिनों तक हीमिन बनाता रहता है। यह हीमिन, ग्लोबिन के साथ मिलकर लाल रक्त कोशिकाओं में उपलब्ध हीमोग्लोबिन बनाता है। हीमोग्लोबिन इसी रूप में चार मास तक स्थिर रहती है। इसी काल में अस्सी दिनों में लाल कोशिकाएं विच्छिन्न होकर हीमिन अलग कर देती हैं जो खंडित होकर पुनः आयरन और पारफिरिन युक्त नाइट्रोजन में परिवर्तित हो जाती है। इस मुक्त आयरन द्वारा हीमिन के नवीन अणु बनते हैं और पारफिरिन शरीर में से निकल कर बाहर आ जाती है। यदि द्रव्यमान स्पेक्ट्रोमीटर द्वारा ज्ञात नाइट्रोजन–15 का मान कम होता है तो यह निष्कर्ष निकाला जाता है कि एक्त में हेमोग्लोबीन कम है।

रक्त की श्वेत कोशिकाओं को ग्रेन्यूलोसाइट)Cv t i rf sawedb कहते हैं। यह ऊतकों में अभिगमन करती है और सात घंटों में शरीर के बाहर निकल जाती है। मनुष्य को संक्रामक रोग होने पर इनके बाहर निकलने की गति तीव्र हो जाती है। शरीर में से इनके निष्कासन का अध्ययन करने के लिए फासफोरस–32 का उपयोग किया जाता है।

यकृत (Liver) के कार्य करने की क्षमता का पता लगाने के लिए डाइ राज बंगाल (Dye Rose Bengal) का आयोडीन–131 से अंकित करके शरीर में इसें अन्तःक्षिप्त किया जाता है। यह पदार्थ रक्त में से यकृत में चला जाता है। यह रंग रक्त में से जिस गति से यकृत में जाता है,

उसका पता गणित्रों द्वारा लगाया जाता है। यदि गणित्रों द्वारा प्राप्त गणनांक कम होते हैं तो यह पता चलता है कि यकृत ठीक से कार्य नहीं कर रहा है। हिप्पुरैन (Hippuran) को आयोडीन 131 से अंकित करके वृक्क (Kidney) और लाल रक्त कोशिकाओं को क्रोमियम–51 से अंकित करके प्लीहा (Spleen)का अध्ययन किया जाता है। उक्त पदार्थों को शरीर में अंतर्क्षिप्त करने के उपरान्त विकिरण की गणना करने वाले यंत्र को उक्त अंगों के पास रखकर यह पता लगाया जाता है कि रेडियो समस्थानिक इन अंगों में किस गति से अवशोषित होते हैं और किस गति से इनका क्षय होता है। इस प्रकार वृक्क और प्लीहा में विकार उत्पन्न हो जाने पर इन समस्थानिकों का अवशोषण कम होता है।

उग्ररक्तहीनता

शरीर में विटामिन बी 12 ग्रहण करने की क्षमता कम होने पर उग्ररक्तहीनता (Anaemia) उत्पन्न हो जाती है। विटामिन बी 12 कोबाल्ट युक्त एक जटिल यौगिक है जो यकृत में इकट्ठा होता है और रक्त धारा में मिल जाता है। विटामिन बी 12 को कोबाल्ट–57 या 58 से अंकित करके अस्वस्थ व्यक्ति को खिला दिया जाता है। इसके उपरान्त समस्त शरीर के ऊपर विकिरण की गणना द्वारा यह निश्चित किया जाता है कि विटामिन बी 12 की कितनी मात्रा शरीर में रह जाती है और इसके क्षय होने की क्या गति है? विकिरण गणित्रों द्वारा गणना करने पर यह ज्ञात होता है कि शरीर में विटामिन बी 12 ग्राही क्षमता सामान्य है या कम।

शरीर द्रव्यों में उपलब्ध आवश्यक पदार्थ

शरीर द्रव्यों में महत्वपूर्ण और आवश्यक पदार्थ जैसे हारमोन विटामिन, स्टीरॉयड और एन्टीजेन के विषय में जानकारी प्राप्त करने के लिए रेडियो समस्थानिकों का उपयोग किया जाता है। माइल्स और हाल्स ने 1968 में इस तकनीक को विकसित किया। रक्त के किसी सीरम में ऐन्टीजेन हारमोनल इंस्युलिन का पता निम्नलिखित ढंग से लगाया गया। अंकित ऐन्टीजेन की अधिक मात्रा लेकर ऐन्टी इंस्युलिन सीरम में मिलाया गया। किसी ऐन्टीजेन की विशिष्ट अभिक्रिया के कारण एक ऐन्टीजेन और ऐन्टीबाडी का संकरण हो जाता है और इस प्रकार बना हुआ यौगिक अवक्षेपित हो जाता है। अपकेन्द्रण द्वारा विलयन में से ठोस पदार्थ अलग कर दिया जाता है। अब विलयन में प्राप्त ऐन्टीजेन और अवक्षेप में उपस्थित ऐन्टीजेन की सक्रियता नाप कर उनका मान ज्ञात किया

जाता है। ऐन्टीजेन की कतिपय सान्द्रताएँ लेकर अवक्षेप और विलयन में उपलब्ध रेडियो एक्टिवता के मान ज्ञात करके एक वक्र खींचा जाता है। मूल प्रतिदर्शित के मान को इस वक्र के साथ तुलना करने पर ऐन्टीजेन की सक्रियता का पता लग जाता है।

चिकित्सा जगत में न्यूट्रान

शरीर के अन्दर स्थित असामान्य ऊतकों को किरणीयित करने के लिए एक्सरे, उच्च ऊर्जावान प्रोटान और एल्फा कण लिए जाते हैं। विकिरण के इन स्रोतों को शरीर से कुछ दूरी पर रखा जाता है। कोबाल्ट–60 और सीजियम–137 से निकलने वाले गामा विकिरण द्वारा अवांक्षनीय कोशिंकाओं को नष्ट करने की विधि बहुत लोक प्रिय हो गई है। बाह्य विकिरणों के अतिरिक्त आन्तरिक विकिरण का भी उपयोग होने लगा है। कुछ समस्थानिक शरीर में किसी स्थान विशेष पर ही एकत्र होते हैं। असामान्य ऊतकों को नष्ट करने के लिए इस समस्थानिकों को शरीर में अन्तर्क्षेपित। किया जाता है। शरीर में जाने के उपरान्त यह तत्व असामान्य कोशिकाओं में एकत्र हो जाता है। इनसे निकलने वाले विकिरण से यह कोशिकाएँ नष्ट हो जाती हैं परन्तु इनके आस पास इनका प्रभाव कम होता है।

मस्तिष्क में निर्मित ऊतकों का पता लगाने की विधि का वर्णन पहले ही किया जा चुका है। अब उपर्युक्त सिद्धान्त के आधार पर इसके उपचार की क्रिया विधि का वर्णन किया जायेगा। बोरान–10 शरीर के अन्दर अन्तर्क्षेपित किया जाता है। कुछ समय में यह रक्त में से निकल कर मस्तिष्क में स्थित ऊतक की कोशिकाओं में अवशोषित हो जाता है। सामान्य मस्तिष्क इसे ग्रहण नहीं करता। अतएव किसी परमाणु भट्ठी में से निकलने वाले मन्द न्यूट्रानों द्वारा इस बोरान–10 को किरणीयित किया जाता है। न्यूट्रान मस्तिष्क को वेधकर बोरान के साथ निम्नलिखित अभिक्रिया करते हैं :

$$ {}^{10}_{5}B + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{7}_{3}Li + {}^{4}_{2}He $$

इस प्रकार अर्बुद में निर्मित एल्फा कणों का गमन पथ बहुत छोटा होता है और यह उसी स्थान पर अपनी ऊर्जा दे देते हैं। इस ऊर्जा से असामान्य कोशिकाओं का विनाश हो जाता है। मस्तिष्क का अन्य भाग इन एल्फा कणों से प्रभावित नहीं होता और मस्तिष्क की सामान्य कोशिकाएं नष्ट नहीं हो पातीं।

शरीर के बाहर रक्त का किरणीयन

अनेक मनुष्यों को रक्त श्वेताणुमयता (Leukemia) नामक रोग हो जाता है। इस रोग में रक्त में श्वेत कोशिकाओं की संख्या बहुत बढ़ जाती है। इस रोग का उपचार गामा विकिरण द्वारा होता है। लाल रक्त की कोशिकाएं, श्वेत रक्त की कोशिकाओं की अपेक्षा अधिक विकिरण प्रतिरोधी होती हैं। इसलिए श्वेत कोशिकाओं को लाल कोशिकाओं की अपेक्षा सरलता से नष्ट किया जा सकता है। इसके उपचार के लिए धमनी और शिरा के बीच, रोगी की भुजा में एक प्लास्टिक ट्यूब का छल्ला जोड़ दिया जाता है और इस प्लास्टिक ट्यूब का कुछ भाग एक गामा विकिरण देने वाले स्रोत के चारों ओर लपेट दिया जाता है। यह स्रोत कोबाल्ट–60 अथवा सीजियम–137 को एक पात्र में बन्द करके स्टील से घेर दिया जाता है। जब रक्त स्रोत से होकर निकलता है तब गामा विकिरण के प्रभाव से रक्त की श्वेत कोशिकाएं नष्ट हो जाती हैं। यह प्रक्रिया कई घंटे चलती है और इसे दुहराया जाता है जिससे रक्त में श्वेत कोशिकाओं की संख्या सामान्य हो जाए।

टूटी हुई अस्थियों के निदान की क्रिया-विधि

जब किसी मनुष्य के शरीर के किसी अवयव की हड्डियाँ टूट जाती हैं, तब डाक्टर उसे उचित ढंग से जोड़कर प्लास्टर चढ़ा देते हैं और कुछ सप्ताहों के उपरान्त अस्थियाँ एक दूसरे से जुड़ जाती हैं। यह क्रिया किस प्रकार होती है? इसके अध्ययन के लिए फास्फोरस–32 तथा गन्धक–35 समस्थानिक चुने गए। सोडियम सल्फेट (Na_2SO_4) साधारण गन्धक के अणु के स्थान पर रेडियो समस्थानिक गन्धक–35 लिया गया और डाई सोडियम मोनो हाइड्रोजन फास्फेट (Na_2HPO_4) में साधारण फास्फोरस के परमाणु के स्थान पर फास्फोरस 32 परमाणु लिया गया। शरीर में इन दोनों के विलयन को इंजेक्शन द्वारा प्रविष्ट कराने के उपरान्त यह देखा गया कि द्वितीय सप्ताह में टूटी हुई अस्थि के आस-पास गन्धक युक्त म्यूकों पाली सैक्कराइड नामक पदार्थ एकत्र हो जाता है। इसकी माप रेडियोऐक्टिव गन्धक द्वारा की जाती है। प्रायः तीसरे सप्ताह के अन्त तक यह पदार्थ उस स्थान से गायब हो जाता है जिस स्थान पर अस्थि भंग हुई थी। इसके स्थान पर कैल्शियम फास्फेट जमने लगा था। इस पदार्थ का परिचयन रेडियोऐक्टिव फास्फोरस द्वारा किया जाता है।

नाभिकीय औषधियाँ (Nuclear Medicines)

एक हंगरी वैज्ञानिक जार्ज हेवेशी (George Hevesy) ने 1913 में अनुज्ञापक रसायन (Tracer Chemistry) के सिद्धान्तों का प्रतिपादन किया। उनके विचारानुसार अत्यन्त सूक्ष्म मात्रा में भी रासायनिक अध्ययन किए जा सकते हैं। 1923 में उन्होंने यह बताया कि जैविक विज्ञान में भी इस प्रक्रम का उपयोग हो सकता है। अत्यन्त सूक्ष्म मात्रा में प्रयुक्त समस्थानिकों से निकलने वाला विकिरण इतना कम होता है कि उसका उपयोग बिना किसी भय के किया जा सकता है। उन्नीस सौ इकतीस में ई० ओ० लारेंस (E.O. Lawrence) ने साइक्लोट्रान का आविष्कार किया और 1934 में रेडियोऐक्टिव आयोडीन-131(^{131}I) बनाया गया। 1939 में प्रथम बार हैमिल्टन ने मानव शरीर में इस समस्थानिक के इकट्ठा होने की मात्रा ज्ञात की। उन्होंने यह विचार व्यक्त किया कि सूक्ष्मदर्शी यंत्र के आविष्कार के उपरान्त जैविक प्रक्रियाओं के अध्ययन के लिए यह दूसरा आविष्कार है जिसकी सहायता से मानव शरीर में प्राप्य किसी भी तत्व अथवा रासायनिक यौगिक में कृत्रिम रेडियोऐक्टिव तत्व जोड़े जा सकते हैं और इनके गमन पथ का पता प्रत्यक्ष रूप से विकिरण मापी गणित्रों द्वारा लगाया जा सकता है। 1948 में मस्तिष्क अर्बुदों का पता लगाने के लिए जार्ज मूर ने रेडियोऐक्टिव आयोडीन युक्त डाई आयोडोफ्लोरेसीन नामक रासायनिक पदार्थ का उपयोग किया। परन्तु उन्हें इस कार्य में सफलता न मिल पाई। अतएव उन्होंने रेडियो आयोडीन युक्त एल्ब्यूमिन का उपयोग किया और इंजेक्शन लगाने के चौबीस घंटे के उपरान्त उन्होंने यह पता लगाया कि रेडियोऐक्टिव आयोडीन किन स्थानों पर एकत्र हुआ। शरीर के भीतर विशिष्ट स्थानों पर रेडियो समस्थानिकों के एकत्र होने वाला गुण अत्यन्त लाभदायक सिद्ध हुआ क्योंकि इनके द्वारा औषधियों की खोज तथा रोगों के निदान में ही सफलता नहीं मिली, बल्कि अनेक जैविक प्रक्रियाओं की कार्यविधि समझने में भी सहायता उपलब्ध हुई।

रेडियो समस्थानिकों का उपयोग करते समय यह बात ध्यान में रखनी पड़ती है कि समस्थानिकों से निकलने वाले विकिरण शरीर के भीतर किसी अंग को क्षतिग्रस्त न कर सकें। अतएव आजकल ऐसे समस्थानिकों के ऊपर शोध कार्य चल रहे हैं जिनसे निकलने वाली गामा-ऊर्जा सत्तर से लेकर चार सौ किलो इलैक्ट्रान वोल्ट तक सीमित हों। इन समस्थानिकों में से बीटा कण नहीं निकलने चाहिए और इनकी अर्द्ध आयु अधिक से अधिक कुछ दिनों तक ही सीमित होनी चाहिए। गामा विकिरण उत्सर्जित करने वाले समस्थानिकों की संख्या लगभग छः सौ है। गामा विकिरण उत्सर्जित करने वाले समस्थानिकों को रासायनिक प्रक्रियाओं द्वारा रासायनिक

यौगिकों में अथवा संकरन द्वारा इन्हें संकुल यौगिकों में जोड़ दिया जाता है। इस प्रकार के यौगिकों में पाए जाने वाले रेडियो समस्थानिकों का पता सोडियम आयोडाइड थैलियम स्फाटकों द्वारा लगाया जाता है।

रोगों के निदान में परम्परागत विधियों के असफल हो जाने पर इस बात का प्रयास किया जाता है कि रेडियो समस्थानिकों से युक्त यौगिकों द्वारा शरीर के विभिन्न अंगों की सामान्य और रोग युक्त दशा का पता लगाकर उनका उपचार हो सके। प्लीहा (Spleen) यकृत (Liver) और वृक्क (Kidney) के लिए आयोडीन–131 अंकित और क्रोमियम-51 अंकित यौगिकों का उपयोग हुआ है। विटामिन बी 12 के अध्ययनों में कोबाल्ट –57, –58 और –60 समस्थानिकों का उपयोग किया गया है क्योंकि इस विटामिन में कोबाल्ट पाया जाता है। इसी प्रकार अर्बुदों की जांच में गैलियम, मर्करी और टेकनीशियम के रेडियो समस्थानिकों का उपयोग हुआ है। इनमें से उल्लेखनीय है : गैलियम–67 (^{67}Ga), इंडियम-111 (^{111}In), आयोडीन–125, –131 (^{125}I , ^{131}I) थैलियम– 201 (^{201}Tl) इन समस्थानिकों से युक्त यौगिकों की सूक्ष्म मात्रा का विलयन शरीर में प्रवृष्ट कराया जाता है। इस सम्बन्ध में यह ध्यान रखना आवश्यक है कि शरीर में प्रवृष्ट विलयन की मात्रा अत्यन्त कम होनी चाहिए और वह शरीर के भीतर होने वाली क्रियाओं में भाग ले सके।

इस प्रक्रिया का एक उदाहरण नीचे दिया जा रहा है। परमैग्नेट से मिलता जुलता एक आयन परटेकनीटेट है। यदि परटेकनीटेट आयन में टेकनीशियम नामक तत्व रेडियो समस्थानिक (^{99}Tc) के रूप में उपस्थित हो तो परटेक्नीटेट पाइरोफास्फेट का इंजेक्शन किसी मनुष्य को देने के उपरान्त गामा विकिरण की माप एक सेन्टीमीटर पतले और पच्चीस सेन्टीमीटर लम्बे सोडियम आयोडाइड थैलियम स्फटिक से की जाती है। इसमें 92 फोटो मल्टिप्लायर ट्यूब लगे होते हैं। इससे शरीर में रेडियो सक्रियता के वितरण का पता लग जाता है।

पॉजिट्रॉन उत्सर्जन टोमोग्राफ (Positron Emission Tomograph)

किसी जीवित मनुष्य के शरीर के भीतर रेडियो समस्थानिकों का वितरण एक साथ दो आयामों से नापा जा सकता है। इस प्रकार की नाप उन समस्थानिकों द्वारा की जाती है जो पॉजिट्रॉन निकालते हैं। पॉजिट्रॉन कणों का भार इलेक्ट्रॉन के बराबर होता है परन्तु उन पर इलेक्ट्रॉन के बराबर धनावेश होता है जब पॉजिट्रॉन किसी पदार्थ में अवशोषित होते हैं तब बिल्कुल विपरीत दिशा में 511 किलो

इलेक्ट्रॉन वोल्ट के दो फोटान निकलते हैं जिन्हें विलोपन विकिरण (Annihilation Radiation) कहा जाता है। विपरीत दिशा में स्थित सोडियम आयोडाइड थैलियम के दो स्फटिकों के केन्द्रों को जोड़ने वाली रेखा के ऊपर इस प्रकार की घटना घटित होती है। यदि इन स्फटिकों के साथ अनेक प्रकाश संवर्द्धक नलियां लगा दी जायें तो कम्प्यूटर द्वारा यह ज्ञात हो जाता है कि रेडियो समस्थानिकों का वितरण शरीर के अंग विशेष पर किस प्रकार होता है।

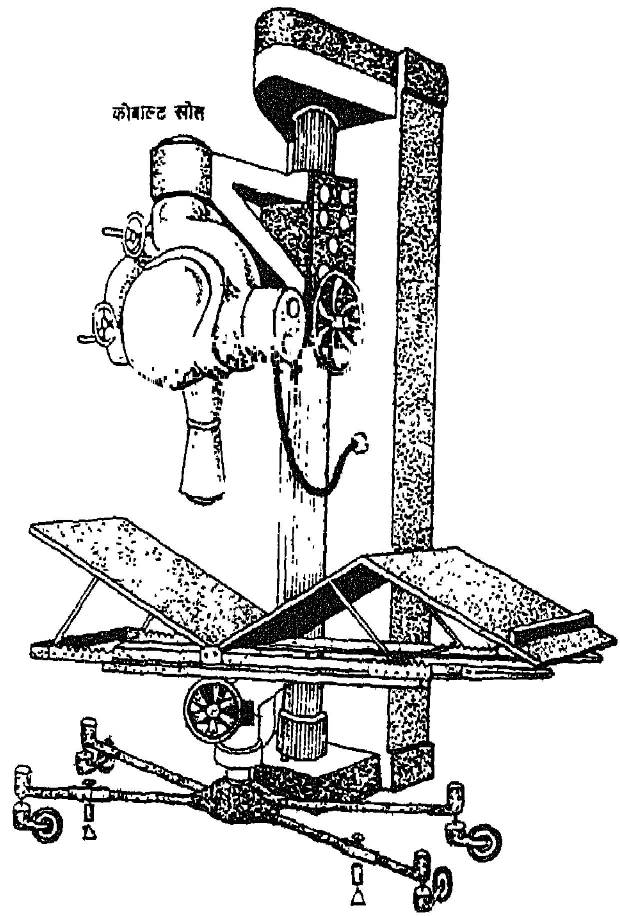
इस कार्य के लिए लघु आयु वाले समस्थानिक आक्सीजन –15 (अर्द्ध आयु 122 सेकन्ड), नाइट्रोजन–13 (अ० आ० दस मिनट) कार्बन–11 (अ० आ० 20.4 मिनट) एवं फ्लोरीन–18 (अ० आ० 110 मिनट), उपयोग में लिए गए हैं। उपापचय) (Metabolism), में काम आने वाले पदार्थों में इन समस्थानिकों को जोड़ने पर प्रोटॉन उत्सर्जन टोमोग्राफ द्वारा शरीर के अन्दर इन समस्थानिकों के मार्ग तथा इकट्ठा होने के स्थानों का पता लगाया जाता है। कार्वाक्सी हीमोग्लोबीन, ग्लूकोज पामिटिक एसिड, एमिनो एसिडों में आक्सीजन–15 अथवा कार्बन–11 के उपस्थित रहने पर शरीर के भीतर होने वाली गतिविधियों का पता लगता रहता है।

अस्पतालों में विसंक्रमण (Sterilisation)

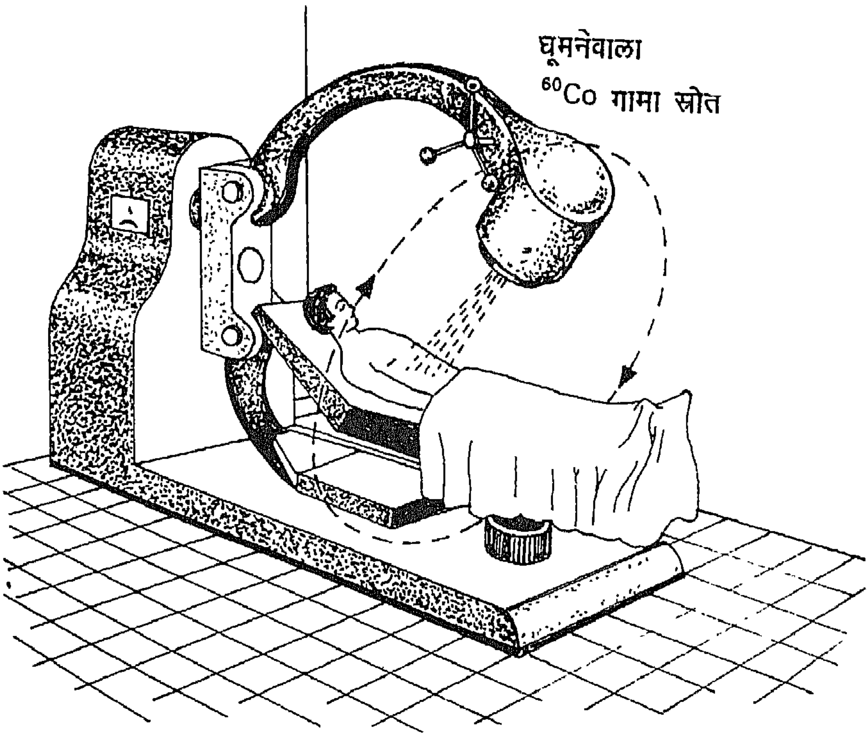
अस्पतालों में उपयोगी वस्तुएं, जैसे शल्य चिकित्सा सम्बन्धी उपकरण, रुई, कपड़े, इंजेक्शन देने की पिचकारियां, पट्टियां, दस्ताने आदि को जीवाणु रहित करने के लिए उन्हें गरम किया जाता है। अब बहुत से अच्छे अस्पतालों में इन वस्तुओं को एल्यूमिनियम की पन्नियों में बन्द करके गामा विकिरण द्वारा इन्हें किरणीयित किया जाता है। किरणीयन करने के लिए कोबाल्ट–60 स्रोत से निकलने वाले गामा विकिरणों का उपयोग होता है। गामा विकिरण जीवाणुओं को नष्ट कर देता है ऊनी वस्त्रों में प्रायः ऐन्थ्रेक्स नामक जीवाणु तो पाए ही जाते हैं साथ ही साथ और भी जीवाणु विद्यमान रहते हैं। इन जीवाणुओं को गामा विकिरण द्वारा सरलता से नष्ट किया जाता है। दवाओं को भी जीवाणु रहित करने में गामा किरणों का उपयोग होने लगा है।

कैन्सर का उपचार

इसके लिए लगभग एक हजार क्यूरी शक्ति वाला कोबाल्ट–60 गामा विकिरण स्रोत प्रयुक्त होता है। गामा विकिरण से कैंसर वाली कोशिकाओं का अधिक विनाश होता है। इनकी तुलना में सामान्य कोशिकाओं का विनाश कम होता है। अतएव समान्तरकारी गामा कैमरे द्वारा कैंसर युक्त



चित्र 21 (अ) कैंसर का उपचार



चित्र 21 (ब) कैंसर का उपचार

स्थानों पर किरणीयन द्वारा कैंसर युक्त कोशिकाएं नष्ट की जाती है। कभी-कभी स्वर्ण –198 समस्थानिक को कैंसरयुक्त स्थान पर प्रवृष्ट कराकर कोशिकाओं को नष्ट किया जाता है।

6

कृषि में विकिरणों और रेडियो समस्थानिकों के उपयोग

हानिकारक कीड़ों मकोड़ों का विनाश

कीट नाशक दवाइयों का अन्धाधुंध प्रयोग पर्यावरण को दूषित कर देता है। इसलिए यह आवश्यक हो गया कि फसलों का विनाश करने वाले कीड़े मकोड़ों की गतिविधियों का पता ठीक-ठीक लगाकर उन्हें तभी नष्ट किया जाए जब कि वे अंडे दे रहे हों अथवा किसी विशेष स्थान कुछ समय तक रुक कर चुपचाप पड़े हुए हों। सर्वेक्षण करने पर यह ज्ञात हुआ है कि वनस्पतियों का विनाश करने वाले कीड़े लगभग दस किलोमीटर क्षेत्र में निवास करते हैं। कोबाल्ट 60 द्वारा सूचित कोबाल्ट क्लोराइड के विलयन में इन कीड़ों को कुछ समय तक डुबाकर स्वंतत्र रूप में विचरण के लिए छोड़ दिया जाता है। विलयन की रेडियो सक्रियता आधी माइक्रो क्यूरी रखने पर विकिरण द्वारा इन कीड़ों का विनाश नहीं होता यद्यपि इनके शरीर में रेडियो सक्रियता बनी रहती है। सर्वेक्षण करने वाले गणित्रों से इनकी उपस्थिति क्षेत्र विशेष में ज्ञात कर ली जाती है और इस प्रकार सम्पूर्ण क्षेत्र में कीट नाशक दवाओं का छिड़काव नहीं करना पड़ता। इस प्रकार कम दवाइयों के प्रयोग से आर्थिक लाभ होता है और पर्यावरण प्रदूषण भी कम हो जाता है।

बहुत से ऐसे भी कीड़े पाए जाते हैं जो फलों के बगीचों को नष्ट कर देते हैं। इन कीड़ों की रोकथाम के लिए बहुत से नर कीड़ों को पकड़ कर उन्हें पौष्टिक आहार दिया जाता है और गामा

विकिरण द्वारा किरणीयित करने के उपरान्त उन्हें मुक्त दर दिया जाता है। इस प्रकार उनकी प्रजनन शक्ति कम हो जाती है और उनके द्वारा उत्पन्न अंड़ों से कीड़े उत्पन्न नहीं होते इस प्रकार दो तीन पीढ़ियों में उनकी संख्या कम हो जाती है।

अमेरिका में मूंगफली की फसल को खराब करने वाली हरे रंग की मक्खियाँ पाई जाती हैं। इनके द्वारा मूंगफली की जड़ों में एक वाइरस प्रवेश पा जाता है और मूंगफली की फसल नष्ट हो जाती है। इनका विनाश करने के लिए फास्फोरस–32 युक्त फास्फेट उर्वरक को मूंगफली के खेतों में डाल देते हैं और इन मक्खियों को यह मूंगफली खाने के लिए छोड़ दिया जाता है। इस प्रकार रेंडियो फासफोरस इन मक्खियों में ही नहीं पहुंचता बल्कि इनके भावी संतानों में भी पहुँच जाता है। रेंडियो सर्वेक्षण यंत्रों से इन मक्खियों का पता लगाकर इन्हें कीट नाशक दवाइयों द्वारा नष्ट कर दिया जाता है। इसी प्रकार मक्के की फसल को हानि पहुंचाने वाले कीड़े कार्न बोरर (Corn Borer) का भी विनाश किया जाता है।

अमेरिका के दक्षिण पूर्वी भाग में मच्छरों के साथ भी इसी प्रकार के प्रयोग किए गए हैं। इसी भाग में स्कूवर्स नामक मक्खी पाई जाती है जो पशुधन को अत्यन्त हानि पहुँचाती है। इनके विनाश के लिए इन्हें पकड़ कर इन्हें बहुत अधिक संख्या में उत्पन्न किया गया। इनके प्यूपाओं को कोबाल्ट-60 गामा विकिरण से किरणीयित करके ऐसी नर और मादा मक्खियां उत्पन्न की गईं जो अनुर्वर थीं। अनुर्वर नर मक्खियों की संख्या उर्वर नर मक्खियों की तुलना में लगभग दस गुनी थी। इन्हें अमेरिका के कई राज्यों में वितरित कर दिया गया और इनके समागम से जो अंडे उत्पन्न हुए वह इस योग्य नहीं थे कि उनसे मक्खियाँ पैदा हो सकें। इस प्रकार इन मक्खियों को पूरी तौर पर नष्ट कर दिया गया।

उर्वरकों का उपयोग

पौधों की वृद्धि के लिए फास्फोरस एक आवश्यक तत्व है। फॉस्फोरस फास्फेट के रूप में पौधों को दिया जाता है। फॉस्फेट कई प्रकार के होते हैं। अतएव इस बात का पता लगाना आवश्यक होता है कि भूमि में कितना फास्फोरस मौजूद है और भूमि विशेष के लिए कितना और कौन सा फॉसफोरस उपयोगी सिद्ध होगा। अम्लीय या क्षारीय मृदा में कौन सा फास्फेट चाहिए, इसका पता फॉस्फोरस–32 द्वारा अंकित फास्फेट उर्वरक की ज्ञात मात्रा मिट्टी में मिला दी जाती है। कुछ समय के उपरान्त पौधे को काटकर उनका भस्म बना दियाजाता है और इस भस्म तथा मिट्टी में

प्राप्य फॉसफोरस–32 की मात्रा ज्ञात करके यह पता लगाया जाता है कि पौधे को उस समय तक कितने फास्फोरस की आवश्यकता पड़ती है। रासायनिक विश्लेषण द्वारा मृदा तथा पौधे की भस्म में पाए जाने वाले फास्फोरस की सम्पूर्ण मात्रा का अनुज्ञापन करके यह ज्ञात होता है कि पौधे ने कितना फास्फोरस रेडियोऐक्टिव फास्फेट से प्राप्त किया। पौधों की जड़ों द्वारा फास्फोरस ग्रहण की क्षमता की माप करने के लिए फॉस्फोरस–32 युक्त केल्शियम सुपर फास्फेट, ट्राई केल्शियम फास्फेट आदि उर्वरकों को पौधों से विभिन्न दूरी पर मिलाया जाता है। इसी प्रकार उन उर्वरकों को विभिन्न गहराइयों पर मिट्टी में मिला देने पर यह पता लगाया जाता है कि पौधों की जड़ें किन-किन दशाओं में अधिक से अधिक फास्फोरस ग्रहण करती है। यदि मिट्टी में बीज बोने से पूर्व फास्फेट उर्वरक मिला दिए जाए तो लगभग साठ प्रतिशत फास्फोरस पौधों द्वारा ग्रहण कर लिया जाता है। खेतों में बीज बोने के उपरान्त फास्फेट उर्वरक मिलाए जाने पर पौधों द्वारा फास्फेट ग्रहण करने की क्षमता बहुत घट जाती है। रेडियोऐक्टिव फास्फोरस द्वारा यह भी पता चला है कि पेड़ पौधे, जड़ों की तुलना में पत्तों द्वारा अधिक फास्फोरस ग्रहण करते हैं। अमोनियम फास्फेट में फॉस्फोरस 32 के अणु अंकित करके यह देखा गया है कि रेडियोधर्मिता सर्वप्रथम पौधों के निचले भाग में पाई जाती है। इसके उपरान्त फॉस्फोरस पौधों के ऊपरी भाग तथा डालियों और पत्तियों में जाता है।

फास्फोरस के अतिरिक्त पौधों की वृद्धि में केल्शियम भी सहायक होता है। अतएव अम्लीय मृदाओं में केल्शियम-45 युक्त केल्शियम आक्साइड अथवा केल्शियम कार्बोनेट मिलाने पर पौधों के अन्दर प्राप्य रेडियोधर्मिता के माप द्वारा यह निष्कर्ष निकाला गया कि पौधे इन दोनों रसायनों से समान मात्रा में केल्शियम ग्रहण करते हैं। इन दोनों लवणों के स्थान पर केल्शियम सल्फेट मिट्टी में मिलाने पर यह देखा गया कि पौधे केल्शियम सल्फेट से कम केल्शियम ग्रहण करते हैं।

रेडियोऐक्टिव जस्ते के द्वारा यह ज्ञात हुआ है कि पौधों के विकास में जस्ता भी एक आवश्यक तत्व है, परन्तु मिट्टी में फास्फोरस की उपस्थिति में पौधों द्वारा जस्ता परिग्रहण की क्षमता कम हो जाती है। इसी प्रकार जस्ते तथा फास्फोरस की उपस्थिति में पौधों द्वारा लौह परिग्रहण में बाधा पड़ती है। अतएव भरपूर फसल प्राप्त करने के लिए मृदा में इन तीनों तत्वों की उपयुक्त मात्रा का रहना आवश्यक है।

पशुओं के पोषण में रेडियो समस्थानिक

पशुओं के विकास में कैल्शियम और फास्फोरस अत्यन्त आवश्यक तत्व हैं। अतएव यह जानना आवश्यक है कि दूध देने वाले पशुओं में इन तत्वों का अधिग्रहण किस प्रकार होता है। उदाहरण के लिए यदि किसी गाय को रेडियोऐक्टिव कैल्शियमयुक्त चारा खिलाए जाने पर उसके दूध, मल और मूत्र की रेडियोधर्मिता नाप से यह पता लगाया जाता है कि उक्त गाय ने कितना केल्शियम अधिग्रहण किया और उसमें से केल्शियम का कितना भाग दूध में पाया गया। इसी प्रकार गाय को रेडियोऐक्टिव फास्फोरस से युक्त चारा खिलाने पर यह ज्ञात हुआ है कि दूध में उपलब्ध फास्फोरस में रेडियोधर्मिता कम है। अतः यह निष्कर्ष निकाला गया कि गाय के दूध में उपस्थित फास्फोरस सीधे चारे से नहीं प्राप्त होता है बल्कि वह उसकी अस्थियों में पहले से उपस्थित फास्फोरस से उपलब्ध होता है।

प्रकाश संश्लेषण चक्र का अध्ययन

पेड़, पौधे में शर्करा, स्टार्च और सेल्यूलोज नामक पदार्थ का निर्माण जल और कार्बनडाईआक्साइड से होता है। इन पदार्थों की रचना सूर्य के प्रकाश और पौधों में उपस्थित हरे रंग के क्लोरोफिल नामक पदार्थ की उपस्थिति में होती है। इंन संश्लेषणों को जानने के लिए आक्सीजन–18 तथा कार्बन–14 रेडियो समस्थानिक प्रयोग में लाए गए हैं। इन अभिक्रियाओं को समझने के लिए पानी में आक्सीजन–18 समस्थानिक की मात्रा बढ़ाकर यह देखा गया कि प्रकाश संश्लेषण में जल का उपचयन होता है और आक्सीजन के परमाणु बनते हैं। यदि जल के परमाणुओं में रेडियोऐक्टिव आक्सीजन अभिक्रिया होने के पहले से उपस्थित है तभी प्रकाश संश्लेषण से प्राप्त आक्सीजन रेडियोऐक्टिव होगी। जल के परमाणुओं में केवल साधारण आक्सीजन होने पर प्रकाश संश्लेषण में रेडियोऐक्टिव आक्सीजन उपलब्ध नहीं होती है। इस प्रकार यह सिद्ध किया गया है कि इस अभिक्रिया में आक्सीजन जल से उपलब्ध होती है। इसका स्रोत कार्बन डाईआक्साइड नहीं है। कार्बन–14 द्वारा यह पता लगाया गया है कि प्रकाश संश्लेषण के समय कतिपय एमीनो अम्ल भी बनते हैं क्योंकि वह कार्बोहाइड्रेटों के पहले ही उपलब्ध हो जाते हैं।

बीजों का किरणीयन और उत्परिवर्तन (Mutation)

विकिरण की मात्रा की इकाई को रैड(Rad) कहते हैं। किसी पदार्थ की एक ग्राम मात्रा में से

सौ अर्ग ऊर्जा अधिशोषित होने पर विकिरण की इस मात्रा को एक रैड के बराबर माना जाता है। यह ऊर्जा 10 $^{-5}$ जूल के बराबर होती है। किसी पदार्थ की एक किलोग्राम मात्रा में अवशोषित विकिरण ऊर्जा एक जूल के बराबर हो तो इसे एक ग्रे (Gray, Gy) कहते हैं। एक ग्रे सौ रेड के बराबर होता है। यदि विकिरण की मात्रा दस किलो रैड से अधिक हो तो यह बीजों और पौधों को नष्ट कर देती है।

आलू तथा प्याज को कोबाल्ट–60 गामा स्रोत से सभी आयामों में किरणीयित करने पर उसमें से अंकुर नहीं निकलते और यह खाद्य पदार्थ सुरक्षित बने रहते हैं। बीजों का किरणीयित सौ से लेकर पांच हजार रैड ऊर्जा द्वारा किया जाता है। खाद्य पदार्थ जैसे मांस, दूध, अंडा आदि थोड़े समय में नष्ट हो जाते हैं। जब इनकी एक ग्राम मात्रा में दस करोड़ जीवाणु पाए जाते हैं तब खाद्य पदार्थ नष्ट हो जाते हैं। नष्ट होने से बचाने के लिए कुछ निश्चित समय तक इन्हें गामा विकिरण द्वारा किरणीयित किया जाता है। सूक्ष्म जीवाणुओं को नष्ट करने के लिए लगभग पचास रैड ऊर्जा की आवश्यकता होती है। इस ऊर्जा से खाद्य पदार्थ विसंक्रमित (Sterilized) हो जाते हैं। विसंक्रमित खाद्य पदार्थों को वायु विरोधी पात्रों में बन्द करके उन्हें गामा विकिरण से किरणीयित किया जाता है। गामा विकिरण द्वारा खाद्य पदार्थों को उद्‌भासित करने में विसंक्रमण ऊर्जा का दशमांश प्रयोग में लाया जाता है। इस प्रकार खाद्य पदार्थ लम्बे समय तक ठंडे कक्ष में रखे बिना ही अधिक समय तक खाने योग्य बना रहता है। अनेक फलों को सड़ने से बचाने के लिए भी यही विधि अपनाई जाती है। साधारण तापमान पर किरणीयन करने पर खाद्य पदार्थों के स्वाद गंध आदि में परिवर्तन हो जाता है। इसे रोकने के लिए शून्य से बहुत नीचे 40 से 80 अंश सेल्सियस पर किरणीयन करने से खाद्य पदार्थों के स्वाद और गंध में किसी प्रकार का परिवर्तन नहीं होता।

शहरी मल-मूत्र का निस्तारण

नगरों का मूलमूत्र नदियों में प्रवाहित कर दिया जाता है। इस कारण पर्यावरण में प्रदूषण की भयानक समस्या उत्पन्न हो गई है। प्रदूषण के साथ-साथ असंख्य हानिकारक जीवाणु भी नागरिकों के स्वास्थ्य के लिए गम्भीर चिन्ता का विषय बन गया है। यदि मलमूत्र को निकलने के पूर्व विशाल गामा संयंत्रों से किरणीयित कर दिया जाये तो यह जीवाणु नष्ट हो जाते हैं और निकलने वाला ठोस पदार्थ उर्वरक के रूप में खेतों में प्रयोग किया जाता है।

7

जीव विज्ञान में समस्थानिक और विकिरण

परमाणु ऊर्जा के विकसित होने पर रेडियोऐक्टिव समस्थानिकों का महत्व बहुत बढ़ गया। जीव जगत में होने वाली अनेक प्रक्रियाओं और घटनाओं के प्रति लोगों का ज्ञान अधूरा ही रह गया था क्योंकि बहुत सी जैविक प्रक्रियाओं के सम्बन्ध में जो विचारधाराएं प्रचलित थीं, वह विश्वसनीय तर्कों और प्रमाणों पर आधारित नहीं थीं। अनेक जटिल जीवन प्रक्रमों को ज्ञात करने के लिए रेडियो ऐक्टिव समस्थानिक जादू की गोलियों के समान प्रतीत होते हैं, परन्तु वास्तव में, इन समस्थानिकों से उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों, गामा विकिरणों और न्यूट्रानों द्वारा अनेक जैविक प्रक्रमों को समझने में बड़ी ही सहायता मिली। जिस प्रकार हम चीजों पर टैग या लेबल लगाकर उन्हें तुरन्त पहचान लेते हैं उसी प्रकार रेडियोऐक्टिव समस्थानिक जीव जगत की अनेक प्रक्रियाओं में भाग लेने पर भी अपने विकिरण द्वारा सरलता से पहचाने जाते हैं। जैव रासायनिक प्रक्रियाओं में प्रयुक्त होने वाले समस्थानिकों को अनुज्ञामक (Tracer) या सूचक (Indicator) कहा जाता है। यद्यपि इनकी मात्रा बहुत सूक्ष्म होती है फिर भी यह ध्यान रखना पड़ता है कि यह मात्रा कहीं घातक तो नहीं होगी। जहाँ पर अन्य तकनीकें सफल नहीं हुई है वहां पर इन अनुज्ञापकों द्वारा आशातीत सफलता उपलब्ध हुई है। इस सफलता का कारण यह है कि बहुत थोड़े से भार वाले समस्थानिकों का परिचयन गणित्रों द्वारा हो जाता है। कभी-कभी तो इनका द्रव्यमान 10^{-19} ग्राम तक भी प्रयोगों में

लाया गया है। इतनी अल्प मात्रा में इनको पहचानना वास्तव में जादू की गोलियों के ही समान है। इनकी पहचान इनकी अर्द्ध आयु, ऊर्जा तथा विकिरण की प्रकृति पर निर्भर होती है। इन गुणों के अध्ययन द्वारा इनकी गतिविधियों का निश्चयन अनेक परिवर्तनों में सरलता पूर्वक हो जाता है। इन परिवर्तनों में प्रयुक्त समस्थानिकों की गति और पथ की जानकारी प्राप्त करके जीव विज्ञान की अनेक उलझी हुई ग्रंथियों को सुलझाया गया है। वनस्पतियों और प्राणियों के अवयवों में होने वाली उपापचयी प्रक्रमों (Metabolic Processes) को जानने के लिए इन समस्थानिकों के स्थानों को निर्धारित करना पड़ता है।

रेडियोऐक्टिव समस्थानिकों द्वारा यौगिकों को अंकित करना आवश्यक होता है। अंकित यौगिकों को निष्कृय यौगिकों द्वारा तनु करते समय यह बात ध्यान में रखनी पड़ती है कि दोनों में पूर्णतया रासायनिक एकता हो और भौतिक अवस्था भी एक समान हो। उदाहरण के लिए यदि एक घटक रवेदार हो तो दूसरा घटक भी रवेदार होना चाहिए। यदि एक घटक विलयन में हो तो दूसरे घटक को भी विलयन में होना चाहिए। रासायनिक एकता से यह भी अभिप्राय है कि आयन भी एक ही प्रकार के हों अथवा उनकी रासायनिक अवस्था एक सी होनी चाहिए। जीव विज्ञान की खोजों में काम आने वाले यौगिकों में कार्बोहाइड्रेट और ऐमिनो अम्लों के अतिरिक्त स्टीरायड, पेन्सिलिन, स्ट्रैप्टोमाइसीन, थाइराक्सीन, इंस्युलिन आदि हैं। बहुत से यौगिकों को कार्बन– 14, फास्फोरस–32, नाइट्रोजन–13, आयरन–52, कोबाल्ट–57 द्वारा अंकित करना पड़ता है। अंकित उत्पादों का प्रयोग करते समय इस बात का ध्यान रखना पड़ता है कि पदार्थ वाष्पशील तो नहीं है अथवा उसकी सक्रियता हानिकारक तो नहीं हैं।

रेडियो समस्थानिकों द्वारा अनेक जीव प्रक्रमों का अध्ययन किया गया है। जीवित प्राणियों में अनेक जटिल क्रियाएं होती हैं। इन्हें जानने के लिए अनेक प्रयास हो चुके हैं। इन प्रयोगों में कतिपय विश्लेषणात्मक प्रक्रियाओं और उनकी गति का विवरण यहां पर दिया जा रहा है।

शारीरिक घटकों में पारस्पारिक विनिमय

प्राणियों के शरीर में कार्बोहाइड्रेट, प्रोटीन और वसा आवश्यक घटक हैं। शरीर में होने वाली उपापचय अभिक्रियाओं द्वारा उक्त तीनों पदार्थों में पारस्परिक विनिमय होता रहता है। फैटी एसिडों, ऐमिनों एसिडों अथवा कार्बोहाइड्रेटों को लेकर उन्हें ड्यूटीरियम, नाइट्रोजन–15 या फास्फोरस–32 से अंकित किया जाता है। इनमें से ड्यूटीरियम तथा नाइट्रोजन–15 रेडियोऐक्टिव नहीं हैं। अंकित

पदार्थों को किसी प्राणी के शरीर में प्रतिक्षेपित करने पर यह ज्ञात होता है कि यह संश्लेषण प्रक्रिया लगातार होती रहती है, और इन पदार्थों में लगातार परिवर्तन होता रहता है। शरीर में पहले से उपस्थित और भोजन द्वारा शरीर में भेजे गए पदार्थों में आपस में लगातार विनिमय होता रहता है। अस्थियों में उपस्थित फास्फोरस तथा केल्शियम और बाहर से शरीर के भीतर पहुंचाए गए फास्फोरस और केल्शियम में भी विनिमय होता है। उदाहरण के लिए यदि किसी फैटी एसिड के हाइड्रोजनों की जगह भारी हाइड्रोजन (ड्यूटीरियम) जोड़कर भोजन में खिलाने पर समस्त अवयवों में ड्यूटीरियम पहुंच जाता है। इसी प्रकार दूध में मिलने वाले पदार्थ कैसीन में नाइट्रोजम–15 युक्त अमोनियम साइट्रेट मिलाकर खिलाने पर, लाइसीन को छोड़कर सभी ऐमीनों अम्लों में नाइट्रोजन–15 मिलता है। कुछ दिनों के उपरान्त मांस पेशियों के क्रीएटीन (Creatin) और मूत्र में प्राप्य हिप्पयूरिक (Hippuric) अम्ल में भी नाइट्रोजन-15 मिलने लगता है। इसी प्रकार यदि अन्य ऐमीनों अम्लों जैसे ग्लाइसीन, ल्यूसीन, टाइरोसीन के नाइट्रोजन को नाइट्रोजन –15 से अंकित करने पर उपरोक्त परिणाम मिलता है। भोजन में प्रोटीन का अभाव होने पर यह क्रिया तीव्र हो जाती है।

शरीर में यौगिकों का संश्लेषण

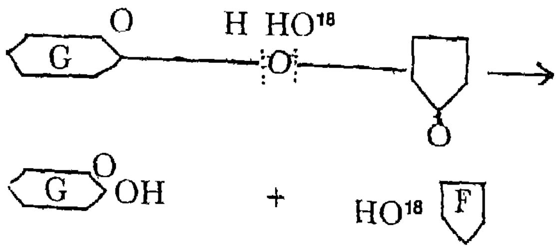
शरीर में कोलेस्टराल (Cholestrol) का संश्लेषण एसीटेट से होता है। इस बात को प्रमाणित करने के लिए ड्यूटीरियम युक्त एसीटेट को चूहों को खिलाकर उनके शरीर में से कोलेस्टराल निकाला जाता है। विश्लेषण से ज्ञात होता है कि समस्त डयूटीरियम कोलेस्टराल में पाया जाता है।

इसी प्रकार ड्यूटरेटेड पामिटिक अम्ल को चूहों को खिलाने पर यह पता लगा कि ड्यूटीरियम का चौबीस प्रतिशत भाग पामिटिक अम्ल में, दस प्रतिशत भाग स्टीएरिक अम्ल में, छः प्रतिशत भाग मिरिस्टिक अम्ल में और एक प्रतिशत ओलेइक अम्ल में मिलता है। इससे यह पता चलता है कि इन अम्लों में से कार्बन की संख्या दो के हिसाब से घटती है क्योंकि ओलेइक अम्ल में कार्बन की संख्या अठारह, पामिटिक अम्ल में कार्बन संख्या सोलह, मिरिस्टिक अम्ल में चौदह और लारिक अम्ल में बारह होती है।

ग्लूटामिक अम्ल कार्बाक्सिलिक (-COOH) समूह के आक्सीजन को आक्सीजन–18 से अंकित करके एटीपी (ATP = Adenosine Triphosphate) से अभिक्रिया कराने पर

यह ज्ञात होता है कि कार्बोक्सिलिक अम्ल $\overset{18}{C}OOH$ का आक्सीजन-18, एटीपी के फास्फेट (PO_3O^{18}) में प्रत्यक्ष रूप में परिवर्तित हो जाता है।

एक प्रयोग में सुकरोज लेकर इन्वर्ट सुगर की उपस्थिति में उसका जल अपघटन करने पर ग्लूकोज प्राप्त होता है। सुक्रोज में ग्लूकोज और फ्रकोज की इकाई आक्सीजन द्वारा जुड़ी रहती है। इसके जल अपघटन का अध्ययन करते समय यदि पानी में सामान्य आक्सीजन के स्थान पर आक्सीजन-18 (H_2O^{18}) लिया जाय तो ग्लूकोज में आक्सीजन-18 नहीं पाया जाता। अतएव सुकरोज निम्नलिखित दो प्रकार की अभिक्रियाओं में से प्रथम अभिक्रिया द्वारा बनता है।



G = ग्लूकोज

F = फ्रक्टोज

ट्रिटियम के उपयोग

हाइड्रोजन के एक समस्थानिक को ट्रिटियम कहते हैं। इसका भार हाइड्रोजन का तिगुना होता है। यदि सामान्य जल में हाइड्रोजन के स्थान पर ट्रिटियम जोड़ देने पर भी यह द्रव पदार्थ शरीर के विभिन्न जलीय पदार्थों में तुरन्त सामान्य रूप में फैल जाता है। ट्रिटियम एक रेडियोऐक्टिव पदार्थ है जो शरीर के भीतर नौ से चौदह दिनों में आधा क्षय हो जाता है और तीन से लेकर पांचवे महीने में इसका लगभग एक हजारवां भाग ही शेष रह जाता है। एक प्रयोग में स्टीयरिक अम्ल में हाइड्रोजन के स्थान पर ट्रिटियम जोड़ दिया गया। फिर इसे मूंगफली के तेल में मिलाकर एक बकरी को खिलाया गया। बकरी के दूध में वसा, स्नेह और मोम की मात्रा नापकर यह ज्ञात किया गया कि स्टीयरिक अम्ल वाष्पशील फैटी अम्लों, ग्लिसरोल और लैक्टोज के बनने में कितना योगदान देता है।

गन्धक-35 (^{35}S) के उपयोग

अकार्बनिक (इनआर्गेनिक) फास्फेटों की तुलना में गन्धक की अभिक्रिया बिल्कुल भिन्न है। कलिल गन्धक में गंधक-35 मिलाकर किसी चूहे को खिलाने पर 48 घंटों में केवल तीन प्रतिशत गन्धक-35 उसके शरीर में पाया जाता है। यदि उसके पेट में सोडियम सल्फाइड (Na_2S^{35}) के विलयन को इंजेक्शन द्वारा प्रवेश करा दिया जाय तो उसके मूत्र में गंधक-35 सल्फेट लवण के रूप में प्राप्त होता है। परन्तु यदि एक मिलीग्राम मैथआयोनीन नामक यौगिक $[CH_3S^{35}(CH)_2CH(NH_2)COOH]$ किसी भूखे चूहे को खिला दिया जाए तो गन्धक-35 की 56 प्रतिशत मात्रा प्रोटीनों में और 36 प्रतिशत मात्रा सल्फेट के रूप में मिलती है। पौधे जब गन्धक-35 द्वारा अंकित सल्फाइट अथवा सल्फेट ग्रहण करते हैं तब यह आर्गेनिक सल्फेटों में बदल जाते हैं।

जीव विज्ञान में फास्फोरस-32 का प्रयोग

पौधों के विकास के लिए फास्फोरस की एक निश्चित मात्रा आवश्यक होती है। मृदा में मिश्रित फास्फेट उर्वरकों का वितरण पौधों की जड़ों द्वारा होता है। पक्षियों अथवा मछलियों के गमन पथ का पता उनके शरीर में धातु के छल्ले पहना कर किया जाता है। लेकिन मक्खियों अथवा मच्छरों के आवगमन का पता छल्लों द्वारा लगाना सम्भव नहीं है। इस समस्या को सुलभ बनाने का श्रेय रेडियो समस्थानिकों को है। रेडियो समस्थानिकों द्वारा न केवल मक्खियों और मच्छरों के समान जीवों को अंकित किया जा सकता है, बल्कि जीवाणुओं को भी इनसे अंकित किया जा सकता है इसका कारण यह है कि केवल एक रेडियोऐक्टिव समस्थानिक भी पहचाना जा सकता है। वास्तव में, साधारण फास्फोरस जिसका भार-31 है, रेडियोऐक्टिव फास्फोरस-32 से रासायनिक गुणों से भिन्न नहीं है। उन दोनों की परमाणु संख्या 15 है। उतने ही उनमें इलेक्ट्रान हैं किन्तु न्यूट्रानों की विभिन्नता के कारण दोनों भिन्न हैं। फिर भी, रासायनिक अभिक्रियाओं में दोनों का मार्ग बिल्कुल एक ही है। इस प्रकार रेडियो समस्थानिक एक ऐसा हथियार है जिससे यह पता लगाया जाता है कि जीवित पदार्थ में यह किस मार्ग से गमन करता है और कहां पर अधिक मात्रा में इकट्ठा होता है। शरीर के अनेक अवयवों में फास्फोरस का उपयोग होता है। वसाओं, प्रोटीनों, कार्बोहाइड्रेटों, न्यूक्लिइक अम्लों, मांस पेशियों के संकुचन और रक्त के परिसंचरण सम्बन्धी उपापचयी अभिक्रियाओं में फास्फोरस पाया जाता है। शैरीर में उपस्थित फास्फेट युक्त पदार्थों जैसे

ग्लिसरोफास्फेट, न्यूक्लीइक अम्लों, फास्फेटाइडस, केसीन, लेसिथिन आदि में अकार्बनिक (इनआर्गेनिक) फास्फेटों का विनिमय नहीं होता। अतएव फास्फेटों को फास्फोरस–32 से अंकित करके उनका इंजेक्शन देने पर उपापचयी अभिक्रियाओं का पता लगाया जाता है। अधिकांश फास्फोरस यकृत में चला जाता है। कोशिकाओं में फास्फोरस का अधिग्रहण और उत्सर्जन होता रहता है। मांस पेशियों में फास्फोरस क्रीएटीन फास्फोरिक अम्ल (Creatine phosphoric acid)ऐडीनोसिन और हेक्सोज फास्फेटों से तुरन्त विनिमय करता है। पौधों द्वारा फास्फेट ग्रहण करने के लिए किए गए प्रयोगों में छोटे-छोटे नवजात पौधे लिए जाते हैं। इन पौधों की फास्फेट ग्रहण करने की क्षमता पुराने पौधों की तुलना में बहुत अधिक होती है। फास्फोरस–32 युक्त उर्वरक के जलीय विलयनों में पांच से लेकर दस माइक्रोक्यूरी रेडियोधर्मिता होती है। विलयन में जल की मात्रा भी कम रखी जाती है। फास्फोरस पौधों की डंठलों, पत्तियों की नसों और पत्तियों के अंत में अधिक



(क) (ख)

चित्र 22 टमाटर के पौधे में (क)^{32}P और (ख)^{22}Na

मात्रा में पाया जाता है। स्वतः विकिरणी चित्रों को देखने पर यह ज्ञात होता है कि पदार्थ की तुलना में उसका बिम्ब बड़ा होता है। इसका कारण यह है कि फास्फोरस–32 से विकिरण प्रत्येक दिशा में निकलता है। इसकी तुलना में सोडियम–22 पौधों में वितरित करने पर पौधे का स्वतः विकिरणी चित्र लगभग पौधे के फोटोग्राफ जैसा दिखलाई पड़ता है। इसका कारण यह है कि सोडियम–22 का वितरण समान रूप से होता है। फास्फोरस–32 के अन्तःक्षेपण (Injection) के लिए सोडियम फास्फेट में फास्फोरस–32 अंकित करके जीवाणु रहित जलीय विलयन बनाया जाता है। इसे सुरक्षित रखने के लिए इसमें मीथाइल या प्रोपाइल पराबेन्स मिलाया जाता है। इसकी अर्द्ध आयु 14.3 दिन होती है इसीलिए दो महीने के बाद यह प्रयोग में नहीं आता। इससे बीटा कण निकलते हैं, जिनकी ऊर्जा अधिक होती है।

आयरन-59 के उपयोग

इसका अंतःक्षेपण जीवाणु रहित विलयन में किया गया हैं। फेरिक साइट्रेट को आयरन–59 से अंकित करके, सोडियम साइट्रेट एक प्रतिशत और प्रचुर मात्रा में सोडियम क्लोराइड मिलाकर एक ऐसा विलयन तैयार किया जाता है जिसका परसरणी (Osmotic) दाब रक्त के बराबर हो। इस विलयन का रंग थोड़ा-थोड़ा भूरा संतरे के रंग से मिलता जुलता है। इस समस्थानिक की अर्द्ध आयु 45 दिन होती है।

इस समस्थानिक का उपयोग लौह उपापचय सम्बन्धी अध्ययनों में किया गया है। मनुष्य के शरीर में आयरन द्वितीय उपचित अवस्था में अवशोषित होता है। भोजन में आयरन तृतीय उपचित अवस्था में मिलाकर देने पर आयरन (11) में परिवर्तित हो जाता है। यह फेरिटिन नामक पदार्थ से मिल जाता है। इसके उपरान्त हीमोग्लोबिन और फेरिटिन के बीच एक साम्य अवस्था उत्पन्न हो जाती है। पहले सामान्य आयरन अवशोषित होता है और इसके उपरान्त रेडियोऐक्टिव आयरन अवशोषित होता है। यदि आयरन की मात्रा कम हो तो वह अधिक अवशोषित होता है परन्तु इसकी मात्रा अधिक होने पर इसका अवशोषण कम हो जाता है।

प्रकाश संश्लेषण में कार्बन-14 (^{14}C) का उपयोग

सूर्य के प्रकाश में पेड़ पौधे कार्बनडाइआक्साइड और पानी के द्वारा शुगर और आक्सीजन पैदा करते हैं। हरे वृक्ष और पौधे क्लोरोफिल की उपस्थिति में कार्बोहाइड्रेट और आक्सीजन उत्पन्न

करते रहते हैं। इस क्रिया में कार्बोहाइड्रेट के अतिरिक्त कई मध्यवर्ती उत्पाद भी बनते हैं। क्लोरोफिल सुग्राहीकारक पदार्थ है और अनेक एनजाइम भी इस प्रक्रिया में सहयोग देते हैं। कुछ लोगों का यह विश्वास था कि क्लोरोफिल हाइड्रोजन का स्थानान्तरण करता है। उत्क्रम्य उपचयन अपचयन चक्र (Reversible Oxidation-Reduction Cycle) में हाइड्रोजन का स्थानान्तरण होता है। अतएव क्लोरोफिल में ट्रिटियम युक्त पानी मिलाकर प्रयोग करने पर क्लोरोफिल में ट्रिटियम नहीं मिलता। अतएव उक्त विचार धारा गलत है।

एक अन्य प्रयोग में क्लोरेल्ला (Chlorolla) नाम शैवाल लेकर प्रकाश की भिन्न मात्राओं और कार्बन-14 युक्त सोडियम बाईकार्बोनेट ($NaH^{14}CO_3$ लेकर कुछ समय तक अभिक्रिया करने पर इसे ईथाइल एल्कोहल में उबाल कर एनजाइमों द्वारा होने वाली प्रक्रियाओं को रोक दिया गया। फिर जल की अस्सी प्रतिशत और एल्कोहल की बीस प्रतिशत मात्रा लेकर घोलक निष्कर्षण द्वारा इसे निकालने पर समस्त कार्बन– 14 प्राप्त हो गया। फिर फिनायल और पानी लेकर एक दिशा में उपस्थित पदार्थों को क्रोमेटोग्राफी द्वारा अलग किया गया। फिर ब्यूटेनाल तथा प्रोपिआनिक अम्ल मिलाकर उक्त क्रोमेटोग्राम को प्रथम क्रोमेटोग्राम से नब्बे अंश की दिशा में डवलप किया गया। फिर क्रोमेटोग्राम का स्वतः विकिरण चित्रण लिया गया। गणित्र द्वारा कार्बन–14 की सक्रियता नापी गई। इस प्रकार यह पता चला कि क्रोमेटोग्राम में उपलब्ध पदार्थों में कितना कार्बन–14 उपस्थित है। इन मध्यवर्ती उत्पादों का पता ट्रिटियम, फास्फोरस–32 तथा कार्बन–14 द्वारा लगाया गया।

ऐन्टीजेन (Antigen) की मात्रा ज्ञात करना

एस० बैन्सन और आर० यालो (S. Benson and R. Yallow) ने 1950 में यह प्रदर्शित किया कि आयोडीन अंकित (^{131}I) इंस्यूलिन (Insulin) और एक निश्चित सान्द्रता वाली ऐन्टीबाडी (Antibody) का पारस्परिक बन्ध, इंस्युलिन की मात्रा पर निर्भर होता है। मानवीय जीव द्रव्य (Human Plasma) में से बिना निकाले हुए इंस्यूलिन की माप के लिए निम्नलिखित तकनीय प्रयोग में लाई गई। एक प्रतिदर्श में रेडियो अंकित ऐन्टीजेन और विशिष्ट ऐन्टीबाडी लेकर उनका संकरन किया गया। इसका अवरोधी प्रभाव ज्ञात किया गया। अज्ञात ऐन्टीजेन की सान्द्रता का पता लगाने के लिये अज्ञात सामान्य ऐन्टीजेन का उसी विशिष्ट ऐन्टीबाडी से संकरन करके इसके अवरोधी प्रभाव की तुलना ज्ञात ऐन्टीजेन से की गई। किसी अज्ञात प्रतिदर्श

में उपस्थित ऐन्टीजेन और ज्ञात मानक प्रतिदर्श में प्राप्य ऐन्टीजेन के प्रतिरोधी व्यवहार के तुलनात्मक अध्ययन से ऐन्टीजेन का पता लगाया जाता है। यह तकनीक पेपटाइडल तथा नान पेपटाइडल हारमोनों, दवाइयों, विटामिनों, एन्थाइमों, वाइरसों तथा प्रोटीनों के सीरम के अध्ययन में भी की जाती है।

सामुद्रिक जीवन विज्ञान में रेडियो समस्थानिक

शंखों, मूंगो और शैवालों में केल्शियम और कार्बोनेट पर्तों के अध्ययन में केल्शियम–45 तथा कार्बन–14 का उपयोग होता है। इन पदार्थों के कार्बनिक अस्थिपंजर पर केल्शियम कार्बोनेट इकट्ठा होता रहता है। उसकी गति तथा क्रिया विधि का पता लगाने के लिए समुद्री जल में केल्शियम–45 लेकर अथवा समुद्री जल में कार्बन–14 युक्त सोडियम बाईकार्बोनेट $NaH^{14}CO_3$) का विलयन बनाकर सामुद्रिक जीवों तथा शैवालों में केल्शियम कार्बोनेट का निक्षेपण ज्ञात किया जाता है।

8

नाभिकीय विकिरण से विद्युत और ताप

परमाणु संख्याओं को निश्चित करने वाले प्रतिभावान वैज्ञानिक मोजले (H.G.J. Moseley) की दूसरी विशिष्ट खोज एक विद्युत सेल थी, जिससे उन्होंने लगभग 150 किलो वोल्ट का उच्च विभव तथा 0.1 मिली एम्पीयर की विद्यतु धारा प्राप्त किया था। उन्होंने क्वार्ट्ज के एक छोटे से गोले के भीतर रेडियम निक्षेपित किया और इसे एक अन्य गोले के भीतर रखा। आन्तरिक गोले के बाह्य-तल और बाह्य गोले के आन्तरिक तल पर चांदी की एक पतली पर्त निक्षेपित करके विभव और विद्युतधारा नापी गई। भीतरी गोले का बाह्य-तल और बाह्य गोले का भीतरी तल क्रमशः ऐनोड और कैथोड के रूप में कार्य करने लगे। परन्तु यह शोध आगे नहीं बढ़ सका क्योंकि प्रथम महायुद्ध में इस नवयुवक वैज्ञानिक मोज़ले की मृत्यु हो गई।

रेडियोऐक्टिव समस्थानिकों का निरंतर क्षय होता है। इस प्रक्रिया में जो ऊर्जा निकलती है उसकी मात्रा बहुत अधिक होती है। अतएव वैज्ञानिकों का ध्यान इस ओर आकृष्ट हुआ और अनेक लोग इस ऊर्जा को विद्युत में बदलने के कार्य में प्रयत्नशील रहे। इनमें से सबसे उल्लेखनीय कार्य ओमार्ट (Ohmart) का है। उन्होंने कोबाल्ट-60 से निकले हुए गामा विकिरण द्वारा एक गैस को आयनीकृत किया और इस आयनीकृत गैस में सोना और सीसा अथवा ताँबा और सीसा के इलेक्ट्रोड रखकर उनके बीच के विभव की माप करके यह पता लगाया कि इनके बीच 0.7 वोल्ट

विभव पाया जाता है। सिलिकन या जर्मेनियम के भीतर तृतीय समूह अथवा पांचवें समूह के तत्वों को प्रविष्ट कराने पर इसमें आंशिक विद्युतचालकता उत्पन्न हो जाती है। इसके ऊपर बीटा कणों की बम वर्षा करके यह आशा की गई कि इससे विद्युत प्राप्त हो सकेगी किन्तु सिलिकन अथवा जर्मेनियम के क्रिस्टलों में विकार उत्पन्न हो गया।

रेडियो समस्थानिकों द्वारा निकले हुए विकिरणों से ऊष्मा उत्पन्न हो सकती है क्योंकि एल्फा और बीटा कण और गामा विकिरण जब किसी द्रव्य में प्रविष्ट होते हैं तब उनका अवशोषण होता है। इनमें से एल्फा तथा बीटा सरलता से अवशोषित हो जाते हैं और इनकी ऊर्जा द्रव्य को मिल जाती है। कतिपय बीटा उत्सर्जक अधिक ऊर्जावान कण निकालते हैं जिनसे अधिक ऊष्मा मिलती है। ऊष्मा प्राप्त करने के लिए कम अर्द्ध आयु वाले समस्थानिक उपयोगी नहीं होते, क्योंकि इनके द्वारा प्राप्त होने वाली ऊर्जा थोड़े समय में ही इतनी कम हो जायगी कि सारा संयत्र अलाभकर हो जाएगा। इसी प्रकार अधिक अर्द्ध आयु वाले समस्थानिकों से उपलब्ध ऊर्जा की गति इतनी कम होगी कि वह भी अलाभकर होगी। गामा किरणों की भेदन शक्ति इतनी अधिक होती है कि उनके लिए उचित परिरक्षण की आवश्यकता होती है। अतएव इस कार्य के लिए गामा विकिरण उपयोगी नहीं माना जाता। विकिरण विद्युत उत्पादक सयंत्र को अधिक लाभप्रद बनाने के लिए यह भी आवश्यक है कि रेडियो समस्थानिक का मूल्य अधिक न हो। इन तथ्यों के आधार पर अमेरिकन, रूसी तथा ब्रिटिश वैज्ञानिक इस निर्णय पर पहुंचे कि केवल कुछ रेडियो समस्थानिक इस कार्य के लिए उपयोगी हैं। कण उत्सर्जन के कारण जो ताप उपलब्ध होता है उसे विद्युत में बदला जाता है। इसके सिद्धान्त को तापायनीय रूपान्तरण (Thermionic Conversion) कहते हैं।

इस प्रकार के यंत्रों में धातुओं के दो इलेक्ट्रोड लगे रहते हैं। इनमें से एक इलेक्ट्रोड टंगस्टन का बना होता है और इसका पृष्ठतल दूसरे इलेक्ट्रोड की तुलना में अधिक होता है। इस इलेक्ट्रोड को उच्च्च ताप पर रखा जाता है। उच्च ताप के लिए रेडियो समस्थानिकों से ऊर्जा प्राप्त की जाती है। दूसरा इलैक्ट्रोड ठंडा होता है। टंगस्टन इलेक्ट्रोड कैथोड और दूसरा ठंडा इलेक्ट्रोड ऐनोड का कार्य करता है। इलैक्ट्रान गर्म धातु से ठंडे इलेक्ट्रोड पर आने लग जाते हैं और दोनों इलेक्ट्रोडों के बीच विभव उत्पन्न हो जाता है। यदि टंगस्टन इलेक्ट्रोड को लगातार ऊष्मा मिलती रहे और दूसरे इलेक्ट्रोड से लगातार ऊष्मा बाहर जाती रहे तो लगातार विद्युत धारा प्रवाहित होती रहेगी। परन्तु इसमें एक कठिनाई यह है कि दोनों इलेक्ट्रोडों के बीच में इलेक्ट्रान इकट्ठा हो जाते हैं और कैथोड से इलेक्ट्रानों के निकलने की गति कम होने लगती है। अतएव इन इलेक्ट्रोडों के बीच में सीजियम

धातु की वाष्प भर दी जाती है। इस धातु का गुण यह है कि यह शीघ्र ही आयनीकृत हो जाती और इसके धनायन उत्पन्न हो जाते हैं। यह धनायन कुछ इलेक्ट्रानों को उदासीन करते रहते हैं। साथ ही साथ धनायनों के कारण विद्युत चालकता भी बढ़ जाती है और विद्युत धारा में भी वृद्धि हो जाती है। सीजियम आयनों और इलेक्ट्रानों के इस सम्मिलित समूह को प्लाज्मा की संज्ञा दी गई है।

इस सम्बन्ध में अमेरिका का स्ट्रांशियम-90 आग्जिलियरी पावर (Storntium-90 Auxiliary Power) सम्बन्धी योजना विशेष रूप से उल्लेखनीय है। इसमें स्ट्रांशियम- 90, स्ट्रांशियम डाइआक्साइड का एक स्तम्भ लेकर इसे किसी इन्स्यूलेटर से ढक दिया जाता है। स्ट्रांशियम-90 तथा टाइटेनिया को खूब अच्छी तरह दबाकर जो स्तम्भ बनाया जाता है उसकी क्षमता बीस किलो क्यूरी रेडियोधर्मिता के बराबर होती है और इसमें से बीटा कण निकलते हैं। इसका तापमान लगभग पांच सौ सेल्सियस के बराबर होता है। इन्स्यूलेटर तथा स्तम्भ के बीच में चांदी और बिस्मथ धातु के बने थर्मोकपुल लगे होते हैं जिसके बाह्य जंकशन का ताल लगभग पचास सेल्सियस होता है। इन्स्यूलेटर के बाहर परिरक्षण लगे होते हैं। इसका उपयोग पनडुब्बियों के भीतर बैटरियों को चार्ज करने, अंतरिक्षयानों, मानव रहित ध्रुवीय प्रदेश के स्टेशनों को चालू रखने तथा मौसम की सूचना देनेवाले यंत्रों में होने लगा है। स्ट्रांशियम-90 के स्थान पर प्लूटोनियम-238 नामक समस्थानिक का उपयोग होने लगा है। कहा जाता है कि 1965 और 1968 के बीच में अमेरिका ने इस प्रकार के दो सयंत्र हिमालय में रख दिए हैं, जिसमें से एक नन्दादेवी के आस पास है।

रेडियोऐक्टिव ऊर्जा को विद्युत में बदलने के लिए दो इलैक्ट्रोड लिए जाते हैं। इसमें से एक पर स्ट्रांशियम-90 का लेप किया जाता है अथवा इसमें यह समस्थानिक मिला हुआ होता है। इन दोनों इलेक्ट्रोडों के बीच का स्थान प्लास्टिक से भरा होता है। कभी-कभी यह स्थान रिक्त भी होता है स्ट्रांशियम-90 से बीटा कण निकलते हैं जो दूसरे इलैक्ट्रोड पर जाते हैं। इस प्रकार विद्युत धारा प्रवाहित होती है। इसे 'नाभिकीय बैटरी' कहते हैं। इससे लगभग सौ वोल्ट बिजली प्राप्त होती है परन्तु विद्युत धारा अत्यन्त कम होती है।

रेडियो समस्थानिकों से प्राप्य ऊष्मा

कई वर्ष तक भ्रमण करने वाले अंतरिक्ष यानों में जल को फिर से प्राप्त करने के लिए रेडियो समस्थानिकों से प्राप्य ऊर्जा का उपयोग किया जाता है। प्लूटोनियम-238 से जो ऊष्मा प्राप्त होती

है उससे अशुद्ध पानी को निम्न दाब और लगभग 65 सेल्सियस पर गरम करके वाष्प रूप में परिवर्तित किया जाता है। इस उपलब्ध वाष्प में अमोनिया, जीवाणु तथा कार्बन के यौगिक अशुद्धियों के रूप में पाए जाते हैं। यह वाष्प एक कक्ष में प्रवेश करती है जहां पर कक्ष की दीवारों में रुथेनियम का लेप होता है और इस कक्ष का तापमान लगभग सात सौ सेल्सियस पर प्लूटोनियम−238 की ऊष्मा द्वारा रखा जाता है। रुथेनियम उत्प्रेरक का कार्य करता है और इसकी उपस्थिति में अशुद्धियां नष्ट हो जाती हैं। इसके उपरान्त पानी की भाप को ठढा करके पीने योग्य पानी प्राप्त किया जाता है।

निकट भविष्य में रेडियो समस्थानिकों से ऊष्मा प्राप्त करने की सम्भावना बहुत अधिक हो गई है। राकेटों में हाइड्रोजन अथवा हाइड्राजीन का उपयोग होता है और राकेट नोदन (Propulsion) के लिए इन गरम गैसों का उपयोग किया जाता है। अतएव प्रमेथियम− 147, पोलोनियम− 210 या प्लूटोनियम−238 से उपलब्ध ऊर्जा द्वारा इन गैसों को 1500 सेल्सियस तक गरम करके राकेटों में विशिष्ट आवेग को बनाए रखा जा सकता है।

9

रसायन और रेडियो समस्थानिक

पिछले अध्यायों में यह बतलाया जा चुका है कि रेडियो समस्थानिकों और उनसे निकलने वाले विकिरणों का उपयोग प्रौद्योगिकी और विज्ञान के अनेक क्षेत्रों में तेजी से हो रहा है। अनेक जटिल समस्याओं को सरलतापूर्वक सुलझाने में इनका योगदान अत्यन्त महत्त्वपूर्ण हो गया है। अब इस अध्याय में रसायन विज्ञान की कतिपय जटिल और दुरूह समस्याओं को हल करने के लिए रेडियो सक्रिय समस्थानिकों के अनुप्रयोग की चर्चा की जायगी। आपने देखा होगा कि रेलवे स्टेशनों पर अमानती सामान कक्ष में यात्रियों का सामान रखते समय उन्हें अंकित कर दिया जाता है और उन पर लेबल अथवा टैग भी लगा दिया जाता है। इस प्रकार उन्हें बिना किसी त्रुटि के सरलतापूर्वक पहचाना जाता है। रेडियो निष्क्रिय समस्थानिकों का तो बाहुल्य है ही, किन्तु आजकल विश्व भर में इतने अधिक रेडियो समस्थानिक बनने लगे हैं कि किसी भी रासायनिक अभिक्रिया का अध्ययन सम्भव हो गया है। यही कारण है कि आजकल इस प्रकार के अध्ययनों की संख्या निरंतर बढ़ती जा रही है।

रेडियो निष्क्रिय और रेडियो सक्रिय समस्थानिकों के भौतिक और रासायनिक गुण एक से होते हैं। इस तथ्य का अपवाद केवल कतिपय थोड़े से समस्थानिक हैं जिनका परमाणु भार बहुत कम होता है। रेडियोधर्मी समस्थानिक इतनी कम मात्रा में प्रयुक्त होते हैं कि वह किसी भी यौगिक की

रासायनिक अवस्था में न तो कोई परिवर्तन कर पाते हैं और न तो अपने विकिरण द्वारा यौगिक की संरचना में किसी भी प्रकार का विकार उत्पन्न कर पाते हैं। रासायनिक अध्ययनों में काम आने वाले रेडियो समस्थानिक इतने सुग्राही होते हैं कि उनकी 10^{-12} ग्राम से लेकर 10^{-19} ग्राम तक की अत्यल्प मात्रा अध्ययन के लिए यथेष्ट होती है। इतने कम द्रव्यमान के उपयोग से यह स्पष्ट हो जाता है कि अन्य तकनीकों की तुलना में यह तकनीक बहुत अधिक उपयोगी और प्रभावशाली है। इन रेडियो समस्थानिकों का परिचयन उनकी अर्द्ध आयु, उनके विकिरणों और उन विकिरणों की ऊर्जा से होता है। आजकल ऐसे गणित्र या विकिरणामापी यंत्र बन चुके है जिनसे न केवल समस्थानिकों का निश्चयन होता है बल्कि उनकी सूक्ष्म मात्रा का भी ठीक-ठीक मूल्यांकन हो जाता है। इस विधि को अनुज्ञापक विधि (Tracer Technique) कहते हैं।

अनुज्ञापक विधि: जैसे अम्ल और क्षार के विलयनों की पारस्परिक अभिक्रिया के मापन से फीनाल्फथेलिन या मेथिल आरेंज नामक सूचकों का उपयोग करके यह पता लगाया जाता है कि कब अम्ल और क्षार एक दूसरे से पूरी तरह अभिक्रिया करके जल और लवण बनाते हैं वैसे ही अनेक रासायनिक संश्लेषणों और विश्लेषणों में होने वाली अभिक्रिया किस प्रकार होती है इसका पता रेडियोधर्मी सूचकों अथवा अनुज्ञापकों द्वारा किया जाता है। इन अनुज्ञापकों की अर्द्ध आयु कम से कम इतनी तो होनी ही चाहिए जिससे रासायनिक क्रिया की अवधि में प्रयोग पूरा हो सके। अनुज्ञापकों की तीव्रता कम होनी चाहिए जिससे विश्लेष्य पदार्थ पर किसी भी प्रकार की रासायनिक अभिक्रिया न हो सके और प्रयोगकर्ताओं के ऊपर भी विकिरण का कोई कुप्रभाव न पड़े। अनुज्ञापकों का प्रयोग करते समय न केवल भौतिक समागता का ही ध्यान रखना पड़ता है बल्कि अनुज्ञापक और अन्वेष्य यौगिक की भौतिक और रासायनिक स्थितियां भी एक होना आवश्यक है। रेडियोधर्मी समस्थानिकों का अनुज्ञापकों अथवा सूचकों के रूप में होने वाले अध्ययनों को तीन श्रेणियों में विभाजित किया जा सकता है। इनमें से वैश्लेषिक रसायन में प्रयुक्त कतिपय अनुप्रयोगों का विवरण यहां पर प्रस्तुत किया जायेगा।

न्यूट्रान सक्रियण विश्लेषण: इस विधि द्वारा खनिजों, अयस्कों, मृदाओं और अन्य पदार्थों में उपलब्ध तत्वों का पता लगाया जाता है। इस विधि की विशेषता यह है कि परीक्षण काल में यौगिक अथवा वस्तु पूर्ववत बने रहते हैं। इसमें पदार्थ अथवा वस्तु नष्ट नहीं होती। इसलिए इसे अविनाशी परीक्षण की भी संज्ञा दी गई है। इस परीक्षण में थोड़े से परमाणु रेडियोधर्मी हो जाते हैं।

इस विधि का उपयोग उन तत्वों के ऊपर किया जाता है जिनकी न्यूट्रान परिग्रहण क्षमता अधिक होती है। इस परीक्षण में निम्नलिखित तत्व प्रयोग में लाए जा सकते हैं। सोडियम, फास्फोरस, कैल्शियम, स्कैंडियम, क्रोमियम, मैंगनीज, कापर, जिन्क, जरमेनियम, आर्सेनिक, सेलेनियम सिल्वर, इंडियम, टंगस्टेन, इरीडियम, प्लैटिनम, गोल्ड, समेरियम, यूरोपियम डायस्प्रोजियम, हालमियम, इटर्बियम और गैडोलीनियम। किसी रेडियोऐक्टिव समस्थानिक की न्यूनतम मात्रा 10^{-12} ग्राम लेने पर भी उसका ठीक-ठीक मापन हो सकता है। इस प्रकार के समस्थानिकों की अर्द्ध आयु कुछ घंटों से लेकर कई वर्ष तक होती है।

किसी प्रतिदर्श में किसी अज्ञात तत्व एक्स (x) का का पता लगाने के लिए उसे एक निश्चित समय टी (t) सेकन्ड तक न्यूट्रानों द्वारा किरणीयित किया जाता है। प्रतिदर्श में तत्व के परमाणुओं की संख्या को एन (N) से, और प्रति सेकन्ड प्रति वर्ग सेन्टीमीटर क्षेत्र से गुजरने वाले न्यूट्रानों की संख्या को फाई (Φ) से प्रदर्शित करने पर जो रेडियोधर्मिता उत्पन्न होती है उसे A_t से प्रदर्शित किया जावे और इसका मान तत्सम्बन्धी सारणियों से लिया जावे तो उत्पन्न रेडियोएक्टिवता का मान $A_t = N\Phi\,\sigma\,(1 - e^{-\lambda t})$ होगा। इस व्यंजक में लैम्बडा (λ) को रेडियो समस्थानिक का प्रति सेकन्ड क्षय स्थिरांक कहते हैं। वास्तव में समस्थानिकों को 't' सेकन्ड तक न्यूटानों द्वारा किरणीयित करने के उपरान्त तुरन्त प्रतिदर्श में जो रेडियोधर्मिता उत्पन्न होती है उसका मान इस बात पर भी निर्भर होता है कि उक्त समस्थानिक प्रतिदर्श का कौन सा भाग है। प्रायः तत्वों में कई समस्थानिक विभिन्न अनुपात में पाए जाते हैं। इसे एफ (f) से, तत्व के भार को (X) से और तत्व के परमाणु को एम (M) से प्रदर्शित करके **X** का मूल्यांकन किया जाता है।

$$X = A_t M / 6.022 \times 10^{23} [\phi\, N\, \sigma\, f\, (1 - e^{-\lambda t})]$$

न्यूट्रान किरणीयन द्वारा उत्पन्न समस्थानिक की अर्द्ध आयु कम होने पर उसे उसकी अर्द्ध आयु के 6 गुने समय तक किरणीयित किया जा सकता है। न्यूट्रानों की संख्या और तत्वों की अभिक्रिया करने की क्षमता के मानों में थोड़ी बहुत त्रुटि अवश्य होती है अतएव किसी मानक प्रतिदर्श के साथ-साथ अज्ञात प्रतिदर्श लेकर बिल्कुल समान प्रतिबन्धों और परिस्थितियों में दोनों का किरणीयन न्यूट्रानों द्वारा किया जाता है। इस प्रकार

$$\frac{\text{अज्ञात समस्थानिक की रेडियो सक्रियता}}{\text{मानक समस्थानिक की रेडियो सक्रियता}} \text{ का मान } \frac{\text{अज्ञात तत्त्व में उपस्थित परमाणु}}{\text{मानक तत्व में उपस्थित परमाणु}} \text{ के बराबर}$$

होता है। रेडियोसक्रियता का मापन गणित्रों द्वारा करने पर अज्ञात और मानक प्रतिदर्शों के रेडियोधर्मिता का अनुपात ज्ञात हो जाता है। मानक प्रतिदर्श में समस्थानिकों की संख्या ज्ञात होती है। अतः अज्ञात प्रतिदर्श में उपलब्ध समस्थानिकों की संख्या का पता बिल्कुल ठीक-ठीक लग जाता है।

एक अन्य प्रयोगात्मक विधि भी उपयोग में लाई जाती है। मानक प्रतिदर्श के भिन्न-भिन्न भार लेकर समान परिस्थितियों में न्यूट्रानों द्वारा किरणीयन किया जाता है। भारों में भिन्नता होने के कारण अलग-अलग रेडियोऐक्टिवता उत्पन्न होती है। भार तथा रेडियोधर्मिता के सम्बन्धों को रेखाचित्र द्वारा प्रदर्शित करने पर एक सरल रेखा उपलब्ध होती है। ज्ञात प्रतिदर्शों की ही भांति अज्ञात प्रतिदर्श को भी उन्हीं परिस्थितियों में न्यूट्रानों से किरणीयित करके उसकी रेडियोधर्मिता ज्ञात की जाती है और सरल रेखा के ऊपर उस सक्रियता से सम्बन्धित भार ज्ञात कर लिया जाता है।

न्यूट्रान सक्रियण विश्लेषण विधि में जिन प्रतिदर्शों का उपयोग होता है, उनमें प्रायः कई तत्त्व मिले जुले होते हैं और इनमें से सब या कुछ न्यूट्रानों द्वारा रेडियोधर्मी बन जाते हैं। इस प्रकार बनने वाली रेडियो एक्टिवता इनकी मात्रा अर्द्ध आयु तथा न्यूट्रानों द्वारा अभिक्रिया करने की क्षमता पर निर्भर होती है। रेडियो समस्थानिकों की सक्रियता का पता उनमें से निकलने वाले गामा या बीटा विकिरणों की ऊर्जा द्वारा की जाती है जो प्रायः भिन्न-भिन्न होती है। विभिन्न रेडियो समस्थानिकों की अर्द्ध आयु में भी अन्तर होता है। इन विभिन्नताओं की पृथक-पृथक गणना करने के लिए आजकल ऐसे गामा स्पैक्ट्रोमीटर बनाए गए हैं जिनके द्वारा रेडियो समस्थानिकों का परिचयन और मूल्यांकन हो सकता है। गणना करने के लिए इन यंत्रों में जर्मेनियम और लिथियम अथवा सिलिकन और लिथियम के डिटेक्टर लगे होते हैं। अब न्यूट्रान सक्रियण विधि से किए गए कुछ रोचक परीक्षणों का वर्णन किया जायगा।

पुरातत्वीय पदार्थों का परीक्षणः सभ्यता के विकास के आदिकाल में मनुष्य ने मिट्टी के बर्तन और मूर्तियां बनाना प्रारम्भ किया। धीरे-धीरे प्रकृति में उपलब्ध खनिजों का लेप करके

आग में पकाने पर इन मृत्भांडों का रंग काला या लाल हो गया। अनेक स्थानों पर उत्खनन से प्राप्त मिट्टी की वस्तुओं में पाए जाने वाले खनिज पदार्थों का पता लगाकर तुलनात्मक अध्ययन द्वारा यह निश्चित किया जाता है कि उत्खनन से प्राप्त मिट्टी की वस्तु किस समय बनी और किस स्थान पर उसका निर्माण हुआ। मिट्टी की बनी हुई वस्तुओं में प्राप्य खनिज पदार्थों का पता न्यूट्रान सक्रियण परीक्षण द्वारा ठीक-ठीक हो जाता है और अतीत की वह धरोहर भी यथापूर्व बनी रहती है।

मिट्टी की वस्तुओं के अतिरिक्त प्राचीन सिक्के भी उस अमूल्य निधि के समान है जिनकी नकल बनाना संभव नहीं है। इन सिक्कों की सत्यता का परीक्षण न्यूट्रान सक्रियाण परीक्षण द्वारा होता है। इस परीक्षण से यह पता चलता है कि अमुक सिक्के कौन सी धातुओं से बनाए गए हैं। इनमें धातुएं कितनी मात्रा में उपलब्ध हैं। इन तथ्यों के आधार पर यह पता चलता है कि वह सिक्के किस स्थान पर बनाए गए होंगे। इस बात का निश्चयन समकालीन प्राप्य धातुओं के विश्लेषण से होता है क्योंकि इतिहास के प्रत्येक काल विशेष में उपलब्ध धातुओं की शुद्धता अलग-अलग होती है।

इसी प्रकार प्राचीन दुर्लभ रंगीन चित्रों और हस्तलिखित पांडुलिपियों की प्रमाणिकता सत्यापित करने के लिए न्यूट्रान अत्यन्त उपयोगी सिद्ध हुए हैं। प्राचीन रंगों और लिखने के लिए इस्तेमाल होने वाली मसियों (Inks) की अपनी एक विशिष्टता है। इनमें पाए जाने वाले सूक्ष्म तत्वों का पता न्यूट्रान सक्रियण द्वारा लगाया जाता है। इस परीक्षण में इतिहास की वह अमूल्य निधि जैसी की तैसी बनी रहती है। प्राचीन कालीन रंगों और स्याहियों और वर्तमान समय में बने इन पदार्थों में उपलब्ध सूक्ष्म तत्वों में कोई भी समानता नहीं होती है। यही विभिन्नता इनकी ऐतिहासिकता की परिचायक है।

रत्न परीक्षण: माणिक्य (Ruby) में अल्यूमिनियम आक्साइड के साथ क्रोमियम के भी आक्साइड मिले होते हैं। प्रकृति में पाए जाने वाले माणिक्यों में क्रोमियम की मात्रा 0.1 से 0.4 प्रतिशत तक होती है। इस मूल्यवान रत्न के परीक्षण में यह भी ध्यान रखना पड़ता है कि परीक्षण के समय रत्न नष्ट न हो जाय। अतएव न्यूट्रान सक्रियण द्वारा इस रत्न का परीक्षण करने पर यह अपनी वास्तविक अवस्था में बना रहता है। रत्न में क्रोमियम की मात्रा ज्ञात करने के लिए इसमें उपलब्ध क्रोमियम–50 के ऊपर न्यूट्रानों की बम वर्षा करके क्रोमियम–51 बनाया जाता है, जो रेडियोऐक्टिव होता है और इसकी अर्द्ध आयु 27.7 दिन होती है। कुछ दिनों तक रखने पर इसकी रेडियोधर्मिता नष्ट हो जाती है।

आर्सेनिक विष परीक्षण: भोजन में आर्सेनिक की थोड़ी-थोड़ी मात्रा मिलाकर विष देने की परम्परा प्राचीनकाल से चली आ रही है। अधिक लम्बे समय तक थोड़ी-थोड़ी मात्रा में आर्सेनिक खिलाने पर विष का प्रभाव धीरे-धीरे होता है और एक लम्बी अवधि के उपरान्त ही खाने वाले की मृत्यु होती है। आर्सेनिक केशों और नखों की जड़ों में इकट्ठा होता है। मनुष्य के केश प्रतिदिन लगभग आधे मिलीमीटर की गति से बढ़ते हैं। इसके साथ-साथ यह विष भी केशों की जड़ों से निकलकर केशों में आगे बढ़ता जाता है। इसी प्रकार जैसे-जैसे मनुष्य के नख बढ़ते जाते हैं वैसे-वैसे उनकी जड़ों में से निकलकर आर्सेनिक भी आगे-आगे बढ़ता जाता है। साधारण आर्सेनिक समस्थानिक का भार 75 होता है और न्यूट्रानों की बमवर्षा द्वारा यह रेडियोधर्मी आर्सेनिक–76 में बदल जाता है। इसकी अर्द्ध आयु लगभग 26.3 घंटे होती है और इसमें से गामा विकिरण निकलता है। आर्सेनिक विष द्वारा मृत्यु का संदेह होने पर मनुष्य के कुछ केश लेकर न्यूट्रान सक्रियण परीक्षण किया जाता है। साधारणतया मानव केशों में आर्सेनिक–76 सूक्ष्म मात्रा में सब जगह समान रूप से पाया जाता है और बालों के किनारों पर इनकी मात्रा अधिक होती है। परन्तु आर्सेनिक विष द्वारा मृतक के केशों का न्यूट्रान सक्रियण परीक्षण करने पर यह पता चलता है कि बालों में कौन-कौन सी आधे मिलीमीटरों की दूरी पर आर्सेनिक की मात्रा एकदम बहुत हो जाती है। मानव केशों में विशेष दूरियों पर पाए जाने वाले आर्सेनिक के बाहुल्य से यह निश्चय किया जाता है कि कौन-कौन से दिन आर्सेनिक खिलाया गया। इस सम्बन्ध में एक विशेष उल्लेखनीय परीक्षण 1962 में हुआ था। फ्रान्स के प्रसिद्ध योद्धा नेपोलियन बोनापार्ट के केशों के परीक्षण द्वारा यह पता चला कि उसके केशों में आर्सेनिक की मात्रा बहुत अधिक है। इससे यह संदेह होता है कि आर्सेनिक विष देने से नेपोलियन का प्राणान्त हुआ। परन्तु यह प्रमाण विश्वसनीय नहीं माना गया और विवादास्पद है।

चाय की पत्तियों की परीक्षण: चाय की पत्तियों में सूक्ष्म तत्व के रूप में मैंगनीज पाया जाता है। इसकी मात्रा लगभग 0.14 प्रतिशत होती है। चाय बनाने पर इसमें से आधी मात्रा पेय जल में चली जाती है और आधी मात्रा पत्तियों में बची रह जाती है। निष्कृय समस्थानिक मैंगनीज–55 इन पत्तियों में पाया जाता है। इसका पता लगाने और ठीक-ठीक मात्रा ज्ञात करने के लिए चाय की पत्तियां अथवा उनकी राख लेकर न्यूट्रान सक्रियण परीक्षण किया जाता है। इस विधि द्वारा रेडियोऐक्टिव मैंगनीज–56 बनता है। यह समस्थानिक गामा विकिरण देता है और इसकी अर्द्ध

आयु 2.58 घंटा होती है। अतएव मैंगनीज की ज्ञात मात्रा और चाय की राख लेकर समान परिस्थितियों में न्यूट्रान बम वर्षा द्वारा यह पता लगाया जाता है कि चाय की पत्तियों में मैंगनीज की कितनी मात्रा है।

न्यूट्रान शोषक तत्वों का परीक्षण: नाभिकीय भट्ठियों में न्यूट्रानों का नियंत्रण बोरान और कैडमियम की छड़ों द्वारा किया जाता है। इन दोनों तत्वों की न्यूट्रान शोषक क्षमता बहुत अधिक होती है। इनके अतिरिक्त कुछ विरल मृदा तत्व जैसे समैरियम, यूरोपियम, गैडोलीनियम, डायसप्रोजियम, यटर्बियम और ल्यूटीशियम की भी न्यूट्रान परिग्रहण क्षमता बहुत अधिक होती है। किसी प्रतिदर्श में इन तत्वों की मात्रा ज्ञात करते समय प्रतिदर्श की मोटाई, न्यूट्रान स्रोत से प्रतिदर्श की दूरी और न्यूट्रान गणना करने वाले यंत्र से प्रतिदर्श की दूरी पर ठीक-ठीक नियंत्रण करना पड़ता है। इन तत्वों के साथ सिल्वर–107 अथवा इंडियम–115 की एक पतली सी पर्णिका रख देने पर सक्रियता कम हो जाती है और यह दोनों तत्व निम्नलिखित नाभिकीय अभिक्रियाओं द्वारा स्थाई तत्वों में परिवर्तित हो जाते हैं।

$$^{107}Ag\ (n,\gamma)\ ^{108}Ag \xrightarrow[2.4\ \text{मिनट}]{\beta^-(1.65\,MeV)} {}^{108}Cd \quad (\text{स्थाई}) \longrightarrow$$

$$^{115}In\ (n,\gamma)\ ^{116}In\gamma\ \xrightarrow[54.1\ \text{मिनट}]{(1.27\ \text{मिनट}\ )\ \beta^-(1MeV)} {}^{116}Sn \quad (\text{स्थाई}) \longrightarrow$$

बोरॉन और कैडमियम के यौगिकों में से इन तत्वों की मात्रा ज्ञात करने के लिए या तो इन तत्वों का विलयन तैयार किया जाता है, जिसकी सान्द्रता 10^{-2} से 10^{-4} मोलर होती है अथवा इनके यौगिकों को पैराफिन के अन्दर समान रूप से वितरित कर दिया जाता है। चांदी की गोल पन्नी को या तो विलयन में लटका देते हैं या पैराफिन के भीतर दो ब्लाकों के बीच रख दिया जाता है। न्यूट्रानों द्वारा पन्द्रह मिनट तक किरणीयित करके चांदी की पन्नी को निकाल कर तुरन्त साफ करके सुखा दिया जाता है और गाइगर मूलर गणित्र द्वारा उसकी सक्रियता नापी जाती है। सान्द्रता और सम्बन्धित रेडियोधर्मिता को नाप कर एक रेखाचित्र तैयार किया जाता है, जिसमें लघु (log)

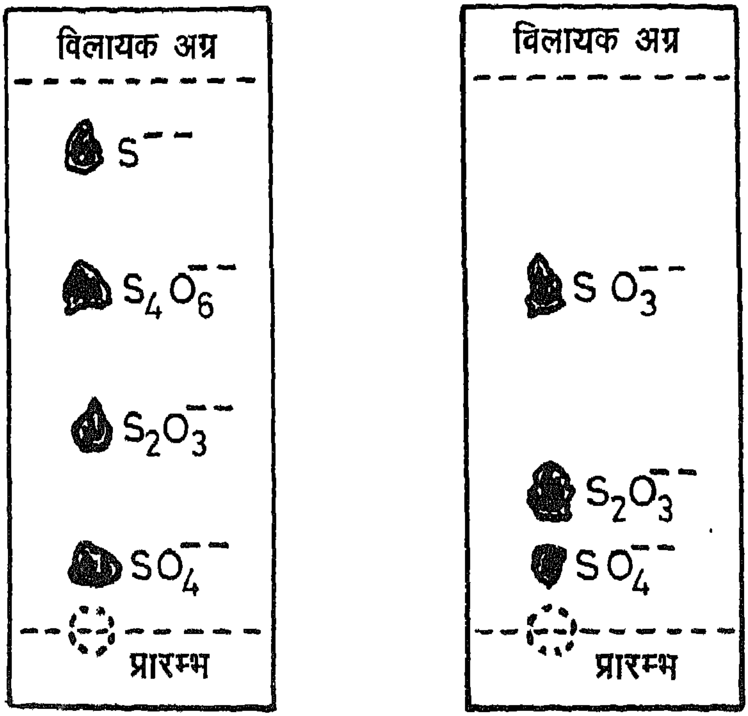
रेडियोधर्मिता तथा बोरान या कैडमियम की सान्द्रता के पारस्परिक सम्बन्धों को प्रदर्शित किया जाता है जो एक सरल रेखा के रूप में उपलब्ध होता है। बोरान या कैडमियम के किसी अज्ञात प्रतिदर्श से प्राप्य रेडियोऐक्टिवता के मान को उक्त सरल रेखा पर देखकर तत्सम्बन्धी सान्द्रता का मान तुरन्त पढ़ लिया जाता है।

रेडियो वर्ण लेखिकी (Radio Chromatography)

गैस, स्तम्भ और कागज सम्बन्धी वर्ण-लेखन विज्ञान में रेडियो समस्थानिकों के प्रयोग द्वारा अनेक महत्वपूर्ण परिणाम प्राप्त हुए हैं। प्रतिदर्शी को रेडियो समस्थानिकों से अंकित करके उन्हें अलग किया जाता है। कागज अथवा स्तम्भ-वर्ण लेखिकी में पृथक हुए पदार्थों का परिचयन किसी डेवलपर द्वारा किया जाता है। परन्तु रेडियो समस्थानिकों की उपस्थिति का पता लगाने के लिए किसी डेवलपर की आवश्यकता नहीं होती क्योंकि वितरित रेडियोधर्मिता का मापन सरलतापूर्वक गणित्रों द्वारा किया जा सकता है। स्तम्भ वर्ण लेखिकी का उपयोग परा प्लूटोनियम तत्वों का पता लगाने में किया गया। यह समस्त तत्व रेडियोधर्मी होते हैं। इनके मिश्रण के विलयन को कैटायन विनिमय करने वाले डावेक्स–50 नामक रेजिन के ऊपर रखकर 87^0 सेन्टीग्रेड पर अमोनियम साइट्रेट या अमोनियम एसीटेट से निक्षालित किया जाता है। स्तम्भ में से निक्षालन द्वारा जो विलयन प्राप्त होता है उसकी एल्फा सक्रियता की गणना की जाती है। एल्फा सक्रियता और निक्षालित बूंदों की संख्या के अध्ययन से यह पता लगा कि तत्व 95 से लेकर तत्व 100 तक एक दूसरे से अलग हो जाते हैं। इसी प्रकार प्रथम समूह के तत्व सोडियम, पोटेशियम, रुबिडियम और सीजियम के धनायनों को एक दूसरे से अलग करने के लिए अम्ल द्वारा प्रक्षालित एस्बेस्टास कागज को लेकर इन आयनों का मिश्रण उस पर एक स्थान पर डाल दिया जाता है। फिर इसे तनु हाइड्रोक्लोरिक अम्ल में रखने पर उक्त कागज के ऊपर यह आयन अलग-अलग स्थानों पर एकत्र हो जाते हैं।

यही विधि गन्धक के विभिन्न आक्सी ऋणायनों को ह्वाटमैन पेपर नम्बर 1 पर अलग करने में इस्तेमाल होती है। कागज पर गन्धक के विभिन्न आक्सी आयनों को रखकर उन्हें निम्नलिखित दो विलयनों द्वारा अलग किया जाता है। एक नार्मल अमोनिया, डाइआक्सन और नार्मल ब्यूटाइल एलकोहल के समान मिश्रण का उपयोग करने पर सल्फाइड, सल्फेट, $S_2O_3^{2-}$ और $S_4O_6^{2-}$ आयन एक दूसरे से अलग होकर कागज पर अलग-अलग स्थानों पर पाए जाते हैं। इसी प्रकार आइसोप्रोपाइल एल्कोहल और अमोनिया की बराबर मात्रा लेकर और इसका दूना एसीटोन

मिलाकर गन्धक के यौगिकों को पृथक करने पर $S_2O_3^{2-}$ और सल्फेट एक दूसरे से अलग होकर कागज के ऊपर भिन्न-भिन्न स्थानों पर चले जाते हैं। गन्धक-35 रेडियो समस्थानिक द्वारा इन यौगिकों को अंकित करके कागज के ऊपर इनका पता इनकी रेडियोऐक्टिवता द्वारा लगाया जाता है।

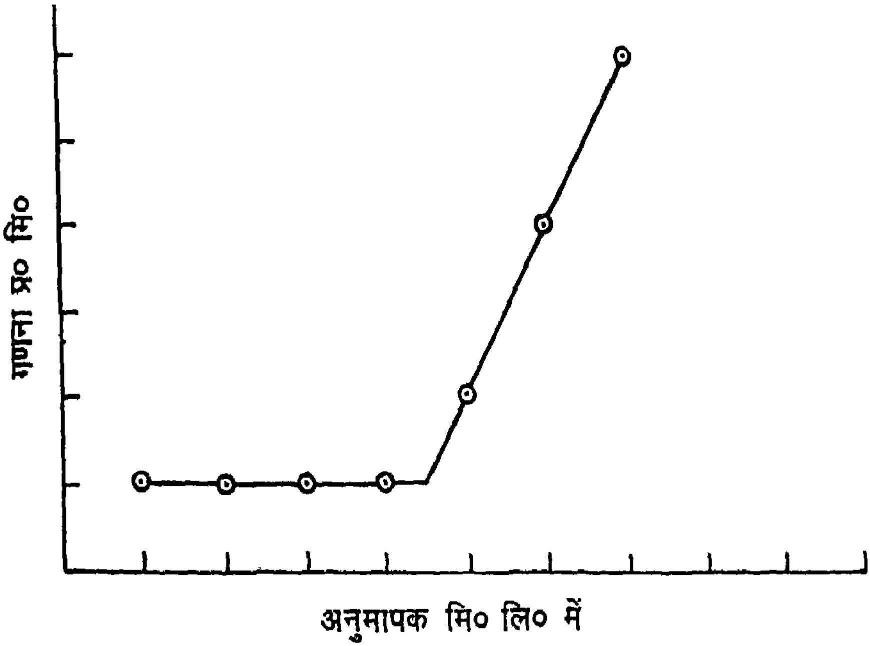


चित्र 23 रेडियो वर्ण लेखिकी

विकिरण मापी अनुमापन (Radiometric Titration)

विलयन में उपस्थित किसी यौगिक की अज्ञात मात्रा का अनुमापन अनुमापक विधि द्वारा किया जाता है। इससे कोई ऐसा सूचक (Indicator) मिला रहता है जो अभिक्रिया समाप्त होते की अपना रंग बदल देता है। किसी विलयन में क्लोराइड की मात्रा ज्ञात करने के लिए सिल्वर नाइट्रेट का एक ज्ञात विलयन लेकर अनुमापक विधि द्वारा सिल्वर क्लोराइड अवक्षेपित किया

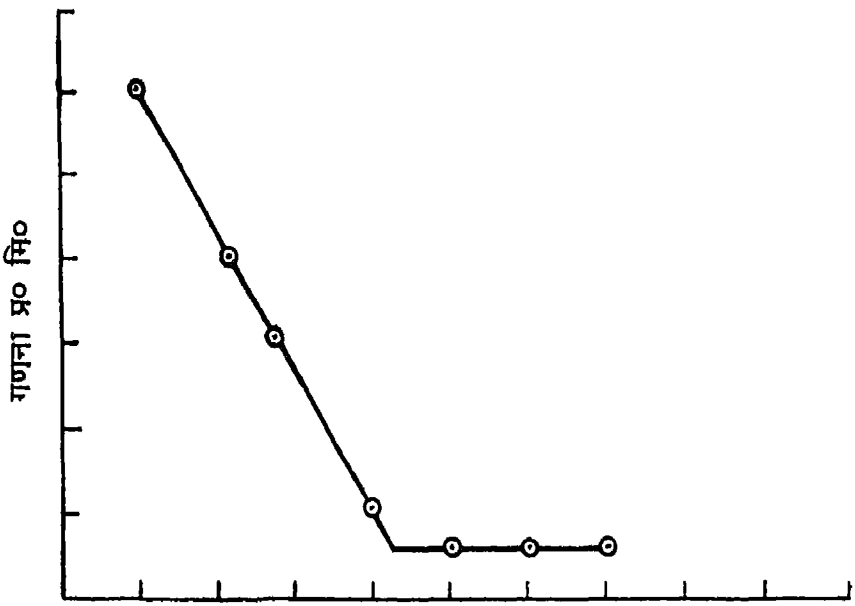
जाता है। इसमें सूचक पोटेशियम क्रोमेट होता है और जब समस्त क्लोराइड अवक्षेपित हो जाता है तब लाल रंग का सिल्वर क्रोमेट अवक्षेपित होने लगता है। विकिरणमापी अनुमापन में सिल्वर नाइट्रेट के साथ रेडियो धर्मी सिल्वर –110 के समस्थानिक मिले होते हैं। क्लोराइड में प्रति मिली लिटर सिल्वर नाइट्रेट का विलयन मिलाने के उपरान्त अवक्षेप को सेन्ट्रीफ्यूज करके विलयन से पृथक कर लिया जाता है। सिल्वर नाइट्रेट की मात्रा लगातार बढ़ाने और अवक्षेप पृथक करके विलयन की रेडियो सक्रियता नापने पर यह देखा जाता है कि विलयन में रेडियोधर्मिता एकदम बढ़ जाती है। ऐसा तभी सम्भव है जब सारे क्लोराइड आयन अवक्षेपित होने के उपरान्त सिल्वर नाइट्रेट डालने पर रेडियोधर्मिता लगातार बढ़ती जाती है। सिल्वर नाइट्रेट के आयतन और रेडियोधर्मिता की मात्रा के रेखा चित्र से यह ज्ञात होता है कि समस्त क्लोराइड आयनों को अवक्षेपित करने में कितने



(क) साधारण विलयन का रेडियोऐक्टिव अनुमापक द्वारा अनुमापन

चित्र 24 विकिरण मापी अनुमापन

मिलीलिटर सिल्वर नाइट्रेट की आवश्यकता होगी। इसके विपरीत सिल्वर नाइट्रेट में सिल्वर 108 न मिलाकर क्लोराइड के अज्ञात विलयन में क्लोराइड 36 आयन मिलाया जाता है। सिल्वर नाइट्रेट एक-एक मिलीलीटर क्लोराइड में मिलाने के उपरान्त सेन्ट्रीफ्यूज करके द्रव अलग कर लिया जाता है। द्रव की रेडियोधर्मिता नाप कर एक रेखा चित्र बनाया जाता है जिसमें रेडियो ऐक्टिवता तथा सिल्वर नाइट्रेट के आयतन के पारस्परिक मानों को प्रदर्शित किया जाता है। ऐसा देखा गया है कि इस अनुमापन में रेडियोधर्मिता लगातार घटती जाती है और क्लोराइड आयनों के पूर्ण अवक्षेपण के उपरान्त रेडियोधर्मिता का मान स्थिर हो जाता है। तुल्यांक प्राप्त करने के लिए उस आयतन का चयन किया जाता है जहां पर दो सरल रेखाएं एक दूसरे को काटती हैं।



(ख) रेडियोऐक्टिव विलयन का साधारण अनुमापक द्वारा अनुमापन

चित्र 25 विकिरण मापी अनुमापन

इस अनुमापन की विशेषता यह है कि इसमें सूचक की आवश्यकता नहीं पड़ती। यदि विलयन रंगीन हो या उसमें अधिक आविलता (Turbidity)हो तो दृश्य सूचकों का उपयोग नहीं हो सकता क्योंकि होने वाले परिवर्तन स्पष्ट दिखलाई नहीं देंगे। प्रायः रासायनिक अभिक्रिया के समय विलयन में उपस्थित सूचक का रंग नष्ट हो जाता है। इसके अतिरिक्त कभी-कभी विलयन इतने तनु होते हैं कि उनका मापन त्रुटि रहित नहीं हो सकता। अतएव विकिरण मापी अनुमापन साधारण अनुमापनों की तुलना में अधिक सरल तथा विश्वसनीय है।

विकिरणमापी अनुमापन की एक और विधि प्रयोगों में लाई जाती है। इसमें सूचक द्रव्य विलयन में ठोस अवस्था में तब तक पड़ा रहता है जब तक कि दूसरा घटक पूरी तरह अवक्षेपित नहीं हो जाता। किसी विलयन में कैल्शियम की मात्रा ज्ञात करने के लिए इसका संकरन इथिलीन डाईएमीन ट्रेटाएसिटिक अम्ल से किया जाता है। इस अम्ल को EDTA कहते हैं। संकरन द्वारा कैल्शियम का एक जटिल यौगिक बन जाता है। कैल्शियम के विलयन में सिल्वर आयोडेट ($^{110}AgIO_3$)ठोस अवस्था में पड़ा रहता है। जब विलयन में से समस्त कैल्शियम अवक्षेपित हो जाता है तब 'ईडीटीए' सिल्वर आयनों से अभिक्रिया करके जल में विलेय एक जटिल यौगिक बनाने लगता है। जिस समय सिल्वर आयोडेट घुलकर पानी में मिलने लगता है उस समय विलयन की रेडियोधर्मिता बढ़ना प्रारम्भ होती है। रेडियोधर्मिता और 'ईडीटीए' के आयतन की संख्याओं के पारस्परिक सम्बन्धों को रेखाचित्र द्वारा प्रदर्शित करके तुल्यांक का मान निकाला जाता है। जहां पर दो सरल रेखाएं परस्पर एक दूसरे को काटती हैं उसी स्थान पर तुल्यांक होता है।

समस्थानिकीय तनूकरण विश्लेषण (Isotopic Dilution Technique)

प्रायः ऐसा देखा गया है कि कुछ जटिल प्रणालियों में किसी घटक विशेष की समस्त मात्रा ज्ञात करना असम्भव हो जाता है क्योंकि कभी-कभी घटक विशेष की मात्रा इतनी सूक्ष्म होती है कि उसका मापन कठिन हो जाता है। ऐसी परिस्थितियों में इस विधि का उपयोग किया जाता है। घटक के साथ-साथ उसमें उसी प्रकार का कोई अंकित रेड़ियोधर्मी समस्थानिक मिलाया जाता है। साम्यावस्था प्राप्त होने पर उसमें से कुछ प्रतिदर्श लेकर गणित्रों द्वारा रेडियोधर्मिता का मापन किया जाता है। सिद्धान्त रूप में इस विधि का विवरण नीचे दिया जा रहा है।

यदि किसी प्रणाली में एक घटक विशेष का अज्ञात भार एक्स (X) ग्राम हो और उसमें रेडियो समस्थानिक वाई (Y) ग्राम मिला दिया गया हो तो रेडियो समस्थानिक के प्रति मिली ग्राम

प्रतिदर्श में एक मिनट तक उसकी सक्रियता नापने पर गणित्र द्वारा एक संख्या S_i प्राप्त होगी। घटक में रेडियो समस्थानिक के अच्छी तरह मिल जाने पर उसमें से थोड़ी सी मात्रा लेकर गणना करने पर प्रति मिलीग्राम से प्राप्य सक्रियता की संख्या S_f होगी। साम्यावस्था प्राप्त होने के उपरान्त जितनी रेडियोधर्मिता उपलब्ध हुई, उसका मान प्रारम्भ में मिलाई गई रेडियोधर्मिता के बराबर होगा।

$$\text{अतएव} \quad (X+Y)\,S_f = Y\,S_i$$

$$\text{अथवा} \quad X = \frac{Y\,(Si - S_f)}{S_f} \text{ के होगा।}$$

ऊपर दिए गए व्यंजक का प्रयोग अनेक एमीनो अम्लों के मिश्रण में प्राप्य ग्लाइसीन की मात्रा निर्धारित करने में किया गया। यदि प्रोटीन का जलीय अपघटन कर दिया जावे तो उत्पाद के रूप में अनेक एमीनों अम्ल प्राप्त होंगे। इन अम्लों के विश्लेषण करने की विधियां संतोषजनक नहीं हैं। अतएव रेडियो समस्थानिकों का उपयोग इस कार्य के लिए किया जाता है। एमीनों अम्लों के मिश्रण में ग्लाइसीन की मात्रा ज्ञात करने के लिए इसमें कार्बन–14 द्वारा अंकित ग्लाइसीन मिला दी जाती है। अंकित ग्लाइसीन की रेडियोसक्रियता पहले से ज्ञात होती है। जब साधारण ग्लाइसीन की एक ज्ञात मात्रा निकाल ली जाती है और गणित्रों से इसकी सक्रियता की गणना करके ग्लाइसीन की मात्रा ऊपर दिए गए व्यंजक द्वारा ज्ञात की जाती है।

एक अन्य उदाहरण ऐन्टी बायोटिक औषधियों के निर्माण के सम्बन्ध में दिया जा रहा है। ओरियोमाइसीन (Aureomycin) नामक औषधि किण्व करके बनाई जाती है। किण्वन (Fermentation) एक बड़े पात्र में किया जाता है। इसमें से एक किलोग्राम किण्वित पदार्थ लेकर इसमें कार्बन–14 द्वारा अंकित कुछ मिलीग्राम ओरियोमाइसीन मिला दी जाती है। मान लीजिए कि एक मिलीग्राम रेडियोऐक्टिव अंकित पदार्थ एक मिनट में सौ काउन्ट दे और पृथक किए गए प्रतिदर्श से दस मिनट में दो सौ काउन्ट प्राप्त हों तो प्रति मिनट यह बीस काउन्ट देगा। यदि ओरियोमाइसीन की मात्रा एक्स (X) ग्राम हो तो $(X + 1)\,20 = 100$ के होगा अथवा एक किलोग्राम किण्वित द्रव्य में ओरियोमाइसीन चार ग्राम होगी।

10

भौतिक रसायन में रेडियो समस्थानिकों के कुछ अनुप्रयोग

भौतिक रसायन में कतिपय समस्याओं का हल ढूंढ निकालने में रेडियो समस्थानिकों के उपयोग लाभदायक रहे हैं। साधारण रासायनिक विधियों द्वारा कुछ समस्याओं का हल सम्भव नहीं है। ऐसी अवस्था में इन समस्याओं का हल रेडियो समस्थानिकों द्वारा सरलता से हो जाता है।

विसरण का अध्ययन

जब किसी पदार्थ में दो स्थानों पर किसी अन्य पदार्थ की मात्रा असमान होती है तब वह पदार्थ उच्च सान्द्रता से निम्न सान्द्रता की ओर अपने आप जाने लगता है। इसे विसरण कहते हैं। विसरण का अध्ययन एक निश्चित समय तक और एक ही तापमान पर किया जाता है। द्रवित लवणों विलयनों और स्फाटकों में आयनों के विसरण का अध्ययन रेडियोधर्मी समस्थानिकों द्वारा किया जाता है। इससे इन पदार्थों के गुणों और प्रकृति के सम्बन्ध में बहुत सी जानकारी प्राप्त होती है। जैसे लेड के किसी ठोस पिन्ड में सोना, टिन और लेड के अणु विसरित करने पर यह पता चला कि लेड में सोना सबसे अधिक विसरित होता है। सोने की तुलना में लेड एक लाखवें भाग के बराबर विसरित होता है और टिन की तुलना में लेड उसके दसवें भाग के बराबर विसरित होता है।

विसरण गुणांक ज्ञात प्रायः तत्व इतनी कम मात्रा में विसरित होते हैं कि रासायनिक परीक्षणों द्वारा उनका मापन करना सम्भव नहीं है। अतः रेडियो समस्थानिकों की सहायता से उनकी गणना की जाती है। यदि किसी रेडियोधर्मी तत्व को एक निश्चित अवधि टी (t) तक एक स्थिर तापमान पर किसी पिन्ड में विसरित किया जाये और पिन्ड के विसरण पथ से एक दूरी एक्स (x) के बराबर कई टुकड़े काटकर उनकी सक्रियताओं 'ए' (a) को नापा जाये तो लघु 'ए' और x^2 का ग्राफ खींचने पर एक सरल रेखा मिलेगी। इस रेखा का स्लोप $\frac{1 \times 4Dt}{2.303}$ होगा और D विसरण गुणांक होता है।

अब लघु D और 1/(तापमान) का ग्राफ खींचने पर एक अन्य सरल रेखा उपलब्ध होती है, जिसके स्लोप से सक्रियण ऊर्जा का मान ज्ञात किया जाता है। पोटेशियम क्लोराइड के एक क्रिस्टल में $^{22}Na^+$ या $^{137}Cs^+$ या $^{42}K^+$ आयन विसरित करने पर सक्रियण ऊर्जा का मान लगभग बराबर होता है। विसरण के सम्बन्ध में प्राप्त जानकारी का उपयोग गैसों के द्रव्यमान परिवहन, विषमांगी प्रणालियों में समस्थानिकों का विनिमय और पोलेरोग्राफी में होता है।

अवक्षेप अथवा चूर्ण के पृष्ठतल का क्षेत्रफल निकालना

उत्प्रेरकों और अधिशोषण प्रक्रमों के विषय में जानकारी प्राप्त करने के लिए ठोस पृष्ठ तलों का क्षेत्रफल ज्ञात करना परम आवश्यक है। ठोस प्रावस्था में उपलब्ध किसी अवक्षेप के ऊपर कोई संयुक्त विलयन रखने पर आयनों का परस्पर विनिमय होता है। आयन विनिमय की मात्रा पृष्ठतल के क्षेत्रफल पर निर्भर होती है। रेडियो समस्थानिकों द्वारा अंकित किसी विलयन को ठोस के ऊपर रखने पर कुछ समय के बाद आयन विनिमय साम्यावस्था को प्राप्त हो जाता है। अतएव ठोस तल पर प्राप्य समस्त रेडियोधर्मी अणुओं और विलयन में पाए जाने वाले समस्त रेडियोधर्मी अणुओं का अनुपात, तलपर पदार्थ की सम्पूर्ण मात्रा और विलयन में पदार्थ की सम्पूर्ण मात्रा का अनुपात बराबर होता है। उदाहरण के लिए सोडियम सल्फेट का एक संयुक्त विलयन बनाकर उसमें से ठोस कण अलग कर दिए जाते हैं। इस विलयन में उच्च रेडिया सक्रियता वाले $Na_2^{35}SO_4$ का लगभग आधा मिलीलीटर विलयन मिला दिया जाता है। इस मिश्र विलयन में से एक मिली लीटर विलयन निकाल कर रेडियो सक्रियता की गणना की जाती है। मान लीजिए कि यह विलयन के एक मिनट गणना करने पर एक संख्या क पाप्त होती है। अब एक ग्राम बेरियम सल्फेट के अवक्षेप के

ऊपर 'व' मिलीलीटर अंकित सोडियम सल्फेट का विलयन भर देने पर कुछ समय के बाद आयन विनिमय साम्यावस्था को प्राप्त हो जाता है। ऐसी परिस्थिति में

$$\frac{\text{पृष्ठतल पर उपस्थित सारे सल्फेट आयन}}{\text{विलयन में उपस्थित सारे सल्फेट आयन}} = \frac{\text{पृष्ठ तल पर सक्रिय सल्फेट आयन}}{\text{विलयन में उपलब्ध सक्रिय सल्फेट आयन}} \text{ के होता है।}$$

अवक्षेप और विलयन के मिश्रण को सेन्ट्रीफ्यूज करके विलयन पृथक कर लिया जाता है और उसमें रेडियोधर्मिता नापी जाती है। मान लीजिए कि इस विलयन के प्रतिमिलीलीटर में उपलब्ध रेडियोधर्मिता प्रति मिनट 'ख' काउन्ट देती है तो विलयन में से ठोस में गई हुई रेडियोधर्मिता का मान 'व (क–ख) के बराबर होगा और विलयन में 'व ख' सक्रियता बची रह गई। सल्फेट आयन अवक्षेप में उपस्थित एक बेरियम सल्फेट के अणु के बराबर होता है और यह विलयन में एक सोडियम सल्फेट के तुल्य होता है। अतएव

$$\frac{\text{पृष्ठतल पर उपस्थित समस्त बेरियम सल्फेट}}{\text{विलयन में उपस्थित समस्त सोडियम सल्फेट}} = \frac{\text{क–ख}}{\text{ख}}$$

विलयन में सोडियम सल्फेट की मात्रा ज्ञात है। अतएव बेरियम सल्फेट की संख्या का मान निकालने पर यह 'अ' के बराबर हुआ। बेरियम सल्फेट का अणुभार 233 होता है। यदि परमाणु भार को बेरियम सल्फेट के धनत्व और एवोगेड्रो संख्या (6.023×10^{23}) से भाग देकर जो संख्या प्राप्त होती है उसका 213 लेने पर एक बेरियम सल्फेट का क्षेत्रफल ज्ञात हो जाता है। यदि इसे 'ब' मान लें तो समस्त क्षेत्रफल 'अ ब' वर्ग सेन्टीमीटर प्रतिग्राम होगा।

अत्यल्प विलेय पदार्थ की घुलनशीलता ज्ञात करना

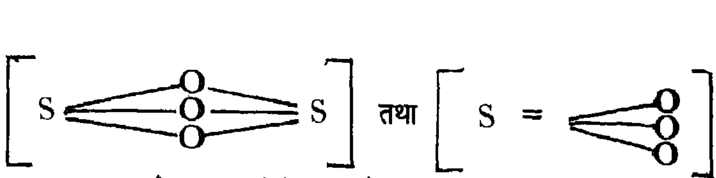
लेड आयोडाइड, बेरियम सल्फेट, सिल्वर आयोडाइड और मैगनीशियम अमोनियम फास्फेट पानी में बहुत कम घुलनशील हैं। इनकी घुलनशीलता ज्ञात करने के लिए इन्हें रेडियो समस्थानिकों मे अंकित कर दिया जाता है। सिल्वर आयोडाइड और लेड आयोडाइड को आयोडीन-131 से,

बेरियम सल्फेट को सल्फर-35 से और मैगनीशियम अमोनियम फास्फेट ($MgNH_4PO_4$ $6H_2O$) को फास्फोरस-32 से अंकित कर दिया जाता है। अब यहां पर सिल्वर आयोडाइड की घुलनशीलता ज्ञात करने की विधि का विवरण प्रस्तुत किया जायेगा। पोटेशियम आयोडाइड को आयोडीन-131 से अंकित करके ऐसा विलयन तैयार किया जाता है जिसके प्रति मिलीलीटर विलयन से प्रति मिनट लगभग दस से पचास हजार काउन्ट प्राप्त होते हैं। इसमें इतना सिल्वर नाइट्रेट मिलाया जाता है कि सम्पूर्ण सिल्वर, सिल्वर आयोडाइड के रूप में अवक्षेपित हो जाए। सेन्ट्रीफ्यूज करके विलयन से अवक्षेप पृथक कर दिया जाता है। अब अवक्षेप में आसुत जल मिलाकर सेन्ट्रीफ्यूज करके अवक्षेप पृथक कर दिया जाता है। यह क्रिया कई बार दुहराई जाती है और अन्त में अवक्षेप को इन्फ्रारेड लैम्प द्वारा सुखाकर तौला जाता है। सिल्वर आयोडाइड की सक्रियता 'स' प्रतिलीटर प्रति मिनट ज्ञात की जाती है। अब अवक्षेप की एक निश्चित मात्रा लेकर आसुत जल में पचास डिग्री सेल्सियस तक गरम करके उसे निश्चित तापक्रम में ठंडा किया जाता है जिस पर घुलनशीलता ज्ञात करनी हो। विलयन को सेन्ट्रीफ्यूज करके उसमें से एक मिलीलीटर का दसवां भाग पिपेट से निकाल कर स्टील की बनी हुई प्लैंचेट के गड्ढे में डाल दिया जाता है। इसे सुखाकर क्लोडियन के एक पतली सी झिल्ली से ढक दिया जाता है। अब इसकी सक्रियता गणित्र द्वारा नापी जाती है और इसका मान ' $स_2$ होता है। इससे सिल्वर आयोडाइड प्रति लिटर ($स_2/स_1$) $\times 10^4$ मिलीग्राम अथवा ($स_2/स_1$) $\cdot$ 10 ग्राम प्रति लीटर होगा। इसे सिल्वर आयोडाइड के परमाणु भार से भाग देने पर इसकी मात्रा मोल प्रति लिटर में उपलब्ध होगी।

आयोडीन-131 मिश्रित सिल्वर आयोडाइड ($Ag^{131}I$), सल्फर-35 मिश्रित बेरियम सल्फेट ($Ba^{35}SO_4$ और फास्फोरस-32 मिश्रित मैगनीशियम अमोनियम फास्फेट ($MgNH_4PO_4$ $6H_2O$) की घुलनशीलता ज्ञात करने के लिए इसी विधि का उपयोग किया जाता है।

किसी यौगिक की संरचना ज्ञात करना

प्रायः किसी यौगिक में किसी तत्व के दो अथवा दो से अधिक अणु पाए जाते हैं। ऐसी अवस्था में यह पता लगाना आवश्यक होता है कि यह संरचनात्मक दृष्टि से ऐसे अणु एक प्रकार के हैं अथवा इनके बन्ध भिन्न-भिन्न प्रकार के हैं। उदाहरण के लिए थायोसल्फेट आयन लीजिए। इसका सूत्र S_2O_3 है। इस यौगिक की संरचना दो प्रकार की हो सकती है।



अब प्रश्न यह उठता है कि उक्त दोनों में से कौन सी संरचना मान्य है। इस बात का पता रेडियोधर्मी सल्फर द्वारा लगाया जाता है। सोडियम सल्फाइट के विलयन में अंकित ^{35}S मिलाकर गरम करने पर सोडियम थायोसल्फेट बनता है। इसमें शोरे के अम्ल की उपस्थिति में सिल्वर नाइट्रेट मिलाने पर सिल्वर सल्फाइड और सोडियम सल्फेट प्राप्त होता है।

$$Na_2SO_3 + {}^{35}S = Na_2\,{}^{35}S\,SO_3$$
$$Na_2\,{}^{35}S_2O_3 + AgNO_3 + HNO_3 = Ag_2\,{}^{35}S + Na_2SO_4 + \text{उत्पाद}$$

समस्त रेडियोधर्मिता सिल्वर सल्फाइड में चली जाती है। सोडियम सल्फेट में रेडियोधर्मिता नहीं पाई जाती। इससे इस बात का पता चलता है गन्धक के दोनों समस्थानिक समतुल्य नहीं है। अतएव संरचनात्मक दृष्टि से दूसरी संरचना ठीक है क्योंकि पहली संरचना में गन्धक के दोनों अणु समान हैं।

इसी प्रकार एक अन्य यौगिक फास्फोरस पेन्टा क्लोराइड में पांच क्लोरीन अणु पाए जाते हैं। ये पांचों अणु समतुल्य हैं अथवा संरचना की दृष्टि से भिन्न-भिन्न हैं। इसका पता लगाने के लिए निम्नलिखित प्रयोग किए जाते हैं। पहले फास्फोरस पेन्टा क्लोराइड के विलयन को अंकित क्लोरीन–36 से अभिक्रिया करके रेडियोएक्टिव फास्फोरस पेन्टाक्लोराइड बनाया जाता है। इस प्रकार संश्लेषित यौगिक का जल अपघटन करने पर फास्फोरस आक्सी क्लोराइड और हाइड्रोक्लोरिक अम्ल प्राप्त होता है।

$$P\,Cl_5 + {}^{36}Cl_2 = P\,{}^{36}Cl_5$$
$$P\,{}^{36}Cl_5 + H_2O = PO\,{}^{35}Cl_3 + 2HCl$$

इससे यह पता चलता है क्लोरीन के दो अणु एक प्रकार के हैं और तीन अणु दूसरे प्रकार के हैं फास्फोरस पेन्टाक्लोराइड परमाणु द्विपिरामिड के आकार का होता है। इसमें तीन क्लोरीन अणु मध्य रेखा तल पर होते हैं और दो क्लोरीन अणु पिरामिडों के सर्वोच्च बिन्दु पर होते हैं। अतएव मध्यरेखा तल पर स्थित क्लोरीन अणुओं और फास्फोरस के बीच की दूरी कम होती है और अन्य दो क्लोरीन अणुओं और फास्फोरस की दूरी अधिक होती है। अतएव यह सरलता से

हाइड्रोक्लोरिक अम्ल के दो परमाणु बना देते हैं। निकिल क्लोराइड और पोटेशियम टेट्रा साइनो निकिल (II) के विलयनों को मिलाने के उपरान्त मिश्रण का पीएच चार से आठ के बीच में रखा जाता है। यदि मिश्रण के क्षारीय विलयन में डाइ मीथिल ग्लाई आग्जाइम मिला दिया जाए तो निकिल डाईमीथिल ग्लाई आग्जाइम के साथ जटिल यौगिक बनाता है और यह अवक्षेपित हो जाता है। निकिल, अवक्षेप तथा विलयन दोनों में ही पाया जाता है। इस अभिक्रिया को समझने के लिए निकिल क्लोराइड($NiCl_2$) को निकिल–63 से अंकित कर दिया जाता है। इसके उपरान्त इसे पोटेशियम टेट्रासाइनों निकिल $[K_2Ni(CN)_4]$ के साथ मिलाकर डाईमीथिल ग्लाई आग्जाइम का अवक्षेप प्राप्त करते हैं। सारी रेडियोधर्मिता डाईमीथिल ग्लाई आग्जाइमेट में पाई जाती है। निकिल साइनाइड $[Ni(CN)_4]$ में रेडियोधर्मिता बिल्कुल नहीं होती। इससे यह निष्कर्ष निकाला जाता है कि $NiCl_2 + K_2Ni(CN)_4$ के मिश्रण से जो यौगिक बनता है उसका सूत्र $Ni[Ni(CN)_4]$ होगा और डाईमीथिल ग्लाई आग्जाइम कोष्ठक के बाहर वाले निकिल से अभिक्रया करके केवल निकिल डाईमीथिल ग्लाई आग्जाइमेट बना देता है और निकिल साइनाइड से अभिक्रिया नहीं करता। इस प्रकार इस यौगिक में उपलब्ध निकिल के दोनों अणु एक दूसरे से भिन्न हैं।

विनिमय अभिक्रियाओं का अध्ययन

कुछ रासायनिक अभिक्रियाओं में किसी तत्व के अणु अथवा आयन किसी यौगिक में उपस्थित उसी प्रकार के अणु अथवा आयनों का स्थान ग्रहण कर लेते हैं। यह भी देखा गया है कि जो तत्व दो या अधिक आक्सीकरण अवस्थाओं में पाए जाते हैं उनमें इलेक्ट्रानों का विनिमय होता है। इतना ही नहीं बल्कि अवक्षेपों के तल पर भी समान आयनों अथवा अणुओं का विनिमय लगातार होता रहता है। साम्यावस्था प्राप्त होने पर भी अणुओं, आयनों और इलेक्ट्रानों का विनिमय निर्बाध गति से होता रहता है। ईथाइल आयोडाइड और आयोडीन आयन के मिश्रण में आयोडाइड आयन का विनिमय होता रहता है। इसी प्रकार आयोडाइड आयन और आयोडेट आयन के मिश्रण में आयोडीन का विनिमय होता है। यदि बेरियम सल्फेट के अवक्षेप के तल पर सल्फेट आयनों का विलयन रख दिया जाए तो सल्फेट आयनों का आपस में विनिमय होता रहता है। आयन, एल्यूमिनियम, क्रोमियम और कोबाल्ट नामक तत्व आग्जलेट आयनों के साथ संकरित होकर जटिल यौगिक बनाते हैं। इनमें से आयरन और एल्यूमिनियम के आग्जलेट तथा विलयन में

उपस्थित आग्जलेट आयनों में परस्पर विनिमय होता रहता है। विलयन में उपस्थित आग्जलेट, क्रोमियम और कोबाल्ट आग्जलेटों के साथ विनिमय नहीं करते। इससे ऐसा प्रतीत होता है कि आयरन और एल्यूमिनियम के जटिल यौगिक, क्रोमियम और कोबाल्ट के जटिल यौगिकों से भिन्न हैं। जब यह जटिल यौगिक बनते हैं तब दो प्रकार के संकरन होते हैं। आयरन और एल्युमिनियम में बाह्यकक्षीय संकरन होता है इसे sp^3d^2 से प्रदर्शित करते हैं। इसी बाह्य कक्षीय संकरन के कारण आग्जलेट आयन आपस में विनिमय करते हैं। क्रोमियम और कोबाल्ट का आग्जलेट के साथ आन्तरिक कक्षीय संकरन होता है। इसे d^2sp^3 से प्रदर्शित करते हैं। जब आन्तरिक कक्षीय जटिल यौगिक बनते हैं तब इनकी विनिमय क्षमता कम हो जाती है। यही कारण है कि कार्बन–14 युक्त आग्जलेट के विलयन को इन जटिल यौगिकों के साथ अलग-अलग मिलाने पर केवल आयरन और एल्यूमिनियम के आग्जलेटों में रेडियोधर्मिता पाई जाती है।

इलेक्ट्रान विनिमय अभिक्रियाओं की क्रिया विधि समझने के लिए क्रोमियम(II)आयन और क्लोरो पेन्टाएमीन कोबाल्ट(III) आयन लिए जाते हैं। इनमें से कोबाल्ट के यौगिक को क्लोरीन-36 द्वारा अंकित करने पर यह ज्ञात होता है कि सारी रेडियोधर्मिता क्रोमियम क्लोराइड $[CrCl]^{2+}$ में चली गई। एक अन्य प्रयोग में कोबाल्ट के यौगिक में क्लोरीन–36 नहीं होती। बल्कि विलयन में अलग से क्लोरीन–36 मिला दी जाती है। इस दशा में क्रोमियम क्लोराइड में रेडियोधर्मिता नहीं पाई जाती। इससे यह निष्कर्ष निकाला जाता है कि इलेक्ट्रान विनिमय अभिक्रिया निम्नलिखित ढंग से होती है।

$$Cr^{2+} + [Co(NH_3)_5{}^{36}Cl]^{2+} =$$
$$[Cr = {}^{36}Cl - Co(NH_3)_5]^{4+} =$$
$$[Cr^{36}Cl]^{2+} + [Co(NH_3)_5]^{2+}$$

समांगी समस्थानिक विनिमय का सैद्धान्तिक अध्ययन निम्नलिखित विधि द्वारा किया गया है। मान लीजिए कि "अ", "ब", "स" तीन अणु है जिनमें से "स*" रेडियोधर्मी समस्थानिक है और "स" रेडियोधर्मिता विहीन है। इनके यौगिकों में पारस्परिक विनिमय निम्नलिखित रीति से होता है।

अ स + ब स* = अ स* + ब स

यदि [अ स] + [अ स*]का मान = क और

[ब स*] + [ब स]का मान = ख हो,

और विनिमय वेग को "व" से प्रदर्शित किया जावे तो एक निश्चित काल "ट" की अवधि में केवल सम्पूर्ण समस्थानिक का एक भाग ही विनमित होगा। इसे यदि "य" से प्रदर्शित करें तो निम्नलिखित व्यंजक द्वारा इन मानों के सम्बन्धों को व्यक्त किया जाता है।

$$\frac{(\text{क} + \text{ख})}{\text{क ख}} \text{वट} = \ln(1-\text{य})$$

विभिन्न समय "ट", और ln (1–य) के मानों को ज्ञात करके आरेख खींचने पर एक सरल रेखा मिलती है। साधारणतया यह रेखा (Origin) केन्द्र बिन्दु से होकर जाती है। परन्तु कभी-कभी शून्य के ऊपर आर्डिनेट (Ordinate) को काटती है। ऐसी दशा में यह निष्कर्ष निकलता है कि विनिमय अभिक्रिया या तो किसी उत्प्रेरक के कारण होती है अथवा विनिमय की गति दो प्रकार की होती है, जिसमें से एक मन्द गति से और दूसरी तीव्र गति से होती है। उदाहरण के लिए कार्बन टेट्रा क्लोराइड के विलयन में फास्फोरस पेन्टा क्लोराइड और क्लोरीन–36 मिलाने पर ऊपर वर्णित परिणाम प्राप्त होता है। इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि फास्फोरस पेन्टा क्लोराइड और क्लोरीन–36 में दो प्रकार का विनिमय होता है। एक की गति तीव्र होती है और दूसरे की गति मन्द होती है। वास्तव में फास्फोरस पेन्टा क्लोराइड में दो प्रकार के क्लोरीन अणु होते हैं क्योंकि इस अणु का आकार त्रिकोणीय द्विपिरामिडाकार होता है। इसके मध्य अथवा इक्वेटरी तल पर तीन क्लोरीन अणु होते हैं जो रेडियोएक्टिव क्लोरीन के साथ तुरन्त विनिमय करते हैं। शीर्ष बिन्दुओं पर स्थित क्लोरीन के दो अणु रेडियोएक्टिव क्लोरीन के साथ मंद गति से विनिमय करते हैं। सरल रेखा के स्लोप का मान $-\frac{(\text{क} + \text{ख})}{\text{क ख}}$ व के बराबर होता है। इससे विनिमय की गति "व" का भी मूल्यांकन किया जाता है।

मध्यवर्ती यौगिकों की खोज

बहुत सी रासायनिक अभिक्रियाएं कई चरणों में होती हैं। कई पदों में होने वाली इन रासायनिक प्रक्रियाओं में कुछ ऐसे उत्पाद बनते हैं जिनका अस्तित्व क्रिया समाप्त होने पर शेष नहीं रहता। यह उत्पाद रासायनिक अभिक्रिया करके नष्ट हो जाते हैं। इन्हें मध्यवर्ती यौगिक या सक्रियित संकुल (Activated Complex) कहते हैं। इनके अस्तित्व को निश्चित करना बड़ा ही कठिन होता है। परन्तु रेडियो समस्थानिकों के द्वारा कुछ मध्यवर्ती यौगिकों की पुष्टि सरल हो गई

है। यहां पर इस प्रकार के दो उदाहरण दिए जा रहे हैं।

धातुओं पर क्रोमियम का विद्युतलेपन करने के लिए क्रोमियम क्रोमेट का विलयन लिया जाता है। विद्युत अपचयन विधि द्वारा क्रोमियम, आक्सीकरण की छठीं अवस्था से शून्य अवस्था में परिवर्तित हो जाता है। कुछ ऐसी धारणा थी कि क्रोमियम की छठी और शून्य आक्सीकरण अवस्थाओं के बीच में मध्यवर्ती क्रोमियम आक्सीकरण की तृतीय अवस्था में बनता है और इसी से क्रोमियम शून्य आक्सीकरण अवस्था में बदल जाता है। इसे इस प्रकार प्रदर्शित किया जाता है।

$$Cr\ (VI) \longrightarrow Cr\ (III) \longrightarrow \mathrm{Cr}\ (0)$$

प्रयोगशाला के तापमान पर क्रोमेट आयनों और क्रोमियम(III)आयनों में पारस्परिक विनिमय नहीं होता। अतएव एक प्रयोग में क्रोमेट आयनों को क्रोमियम–51 समस्थानिक से अंकित करने के उपरान्त इसमें क्रोमियम(III)आयन मिलाए गए। विद्युत अपघटन द्वारा यह पता चला कि धातु के ऊपर विद्युतलेपन द्वारा रेडियोएक्टिव क्रोमियम तभी पाया जाता है जब क्रोमेट आयनों में क्रोमियम रेडियोएक्टिव हो। यदि क्रोमेट आयनों को क्रोमियम–51 से अंकित न किया जाए बल्कि क्रोमियम (III)आयनों को क्रोमियम–51 से अंकित करके इस मिश्रण का विद्युत अपघटन करने पर धातु के ऊपर रेडियोएक्टिव क्रोमियम नहीं मिलता। इससे यह सिद्ध होता है कि धातुओं पर विद्युतलेपन द्वारा जो क्रोमियम पाया जाता है वह क्रोमेट आयनों से प्राप्त होता है और क्रोमियम(III)(Cr^{3+}) आयन इस प्रक्रिया में भाग नहीं लेते। अतएव इस प्रक्रिया में क्रोमियम(III)मध्यवर्ती उत्पाद नहीं है।

कोलेस्टराल का निर्माण

मनुष्य तथा अन्य जीवों में पिरुविक अम्ल द्वारा कोलेस्टराल बनता है। यह प्रक्रिया कई चरणों में होती है। इसमें एक मध्यवर्ती यौगिक स्क्वालीन भी बनता है इसे इस प्रकार प्रदर्शित कर सकते हैं:

पिरुविक अम्ल	आइसोप्रीन	स्क्वालीन	कोलेस्टराल
$CH_3COCOOH$	C_5H_8	$C_{30}H_{50}$	$C_{27}H_{45}O$

इस अभिक्रिया की वास्तविकता जानने के लिए यह आवश्यक है कि पिरुविक अम्ल तथा स्क्वालीन को कार्बन–14 से अंकित किया जाए। अब अंकित पिरुविक अम्ल तथा साधारण स्क्वालीन को एक चूहे को खिलाने के उपरान्त यह देखा गया कि स्क्वालीन में रेडियोधर्मिता

उपस्थित है, जब कि चूहे को बिना रेडियोधर्मिता वाला स्क्वालीन खिलाया गया था। एक अन्य प्रयोग से अंकित किए बिना पिरुविक अम्ल तथा कार्बन–14 अंकित स्क्वालीन खिलाने पर चूहे के शरीर में रेडियोधर्मी कोलेस्टराल पाया गया। इससे यह निष्कर्ष निकला कि पिरुविक अम्ल से स्क्वालीन बनता है और इस यौगिक से कोलिस्टराल बनता है।

एस्टर का उत्पादन और उसकी जलीय विघटन

किसी आर्गेनिक अम्ल और एलकोहल को लेकर अभिक्रिया करने पर एस्टर नामक पदार्थ बनता है। यह अभिक्रिया इस प्रकार होती है :

$$R-C\begin{smallmatrix}=O\\ -OH\end{smallmatrix} + H-O-R' \longrightarrow R-C\begin{smallmatrix}=O\\ -OR'\end{smallmatrix} + H_2O$$

अब प्रश्न उठता है इस अभिक्रिया में बनने वाला जल क्या एल्कोहल के 'OH' और अम्ल के 'H' द्वारा प्राप्त होता है अथवा अम्ल का 'OH' तथा एल्कोहल के 'H' द्वारा यह बनता है। इस कार्य के लिए अम्ल के 'OH' के आक्सीजन को आक्सीजन–18 से अंकित करके अभिक्रिया करने पर ^{18}O पानी में पाया जाता है।

$$R-C\begin{smallmatrix}=O\\ -{}^{18}OH\end{smallmatrix} + H-O-R' \longrightarrow R-C\begin{smallmatrix}=O\\ -OR'\end{smallmatrix} + H_2\overset{18}{O}$$

इसके विपरीत यदि H_2O^{18} के साथ किसी एस्टर का जलीय अपघटन करने पर आक्सीजन–18 अम्ल में मिलता है। $R-{}^{18}OH$ लेकर $R-C\begin{smallmatrix}=O\\ -OH\end{smallmatrix}$ के साथ अभिक्रिया करने पर ^{18}O एस्टर में मिलता है। इन प्रयोगों के आधार पर यह निष्कर्ष निकाला गया कि अम्ल में C—OH बन्ध और एल्कोहल में H—O बन्ध टूट कर पानी बनाते हैं और अम्ल से 'OH' और एल्कोहल से 'H' प्राप्त होता है।

$$R\,COOCH_3 + H\,^{18}OH \rightarrow R\,CO\overset{18}{O}H + CH_3OH$$

मैंगनीज डाइआक्साइड द्वारा उत्प्रेरण

मैंगनीज डाइआक्साइड उत्प्रेरक, कार्बन मोनोआक्साइड गैस तथा वायु के मिश्रण को कार्बन डाईआक्साइड में परिवर्तित कर देता है। पहले ऐसा समझा जाता था कि मैंगनीज डाइआक्साइड से

एक आक्सीजन अणु निकलता है और वह कार्बन मोनोआक्साइड से अभिक्रिया करके कार्बन डाइआक्साइड बना देता है। वायु के आक्सीजन MnO के साथ मिलकर तुरन्त MnO_2 बना देता है। इसे इस प्रकार प्रदर्शित किया जाता है।

$$CO\ (\text{गैस}) + MnO_2 \rightarrow CO_2(\text{गैस}) + MnO$$
$$MnO + O\ (\text{वायु}) \rightarrow MnO_2$$

इस बात की पुष्टि करने के लिए MnO_2 के आक्सीजन को ^{18}O से अंकित किया गया। अभिक्रिया समाप्त होने पर कार्बन डाइआक्साइड में आक्सीजन –18 नहीं मिली, बल्कि यह मैंगनीज डाइआक्साइड में पाई गई। इससे यह पता चला कि मैंगनीज डाईआक्साइड में कोई भी परिवर्तन नहीं होता और कार्बन मोनोआक्साइड और वायु से सीधे अभिक्रिया होती है। मैंगनीज डाईआक्साइड उत्प्रेरक का कार्य करता है।

$$CO\ (\text{गैस}) + O\ (\text{वायु}) + Mn\,^{18}O_2 \rightarrow CO_2 + Mn\,^{18}O_2$$

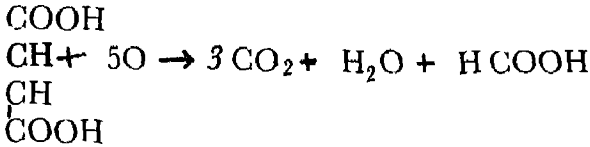
एक अन्य प्रक्रिया में मैंगनीज डाईआक्साइड उत्प्रेरक का कार्य करता है और हाइड्रोजन पर आक्साइड को विघटित करके आक्सीजन बना देता है।

$$O = Mn = O + H - O - O - H \rightarrow MnO + H_2O + {}^{18}O_2$$

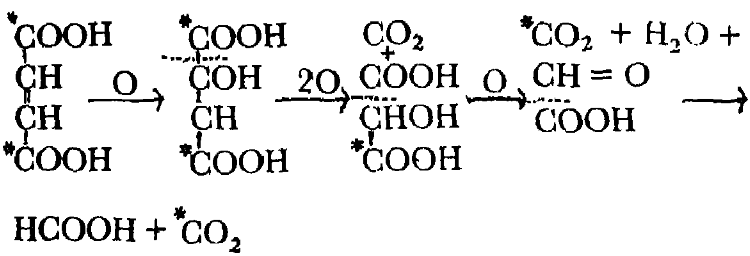
पहले यह धारणा थी कि आक्सीजन के एक परमाणु के लिए एक आक्सीजन मैंगनीज डाईआक्साइड देता है और दूसरा आक्सीजन हाइड्रोजन पर आक्साइड देता है। परन्तु हाईड्रोजन पर आक्साइड के आक्सीजन को ^{18}O से अंकित करने पर यह देखा गया कि केवल आक्सीजन के परमाणु में ही समस्त ^{18}O पाया जाता है। अतएव दोनों ही आक्सीजन हाइड्रोजन पर आक्साइड से मिलते हैं।

फ्यूमैरिक अम्ल का पोटेशियम परमैंगनेट द्वारा आक्सीकरण

अम्लीय पोटेशियम परमैगनेट का उपयोग अनेक आक्सीकरण प्रक्रियाओं में होता है। फ्यूमैरिक अम्ल एक आर्गेनिक पदार्थ है जिसमें दो कार्बाक्सिलिक समूह COOH और दो मीथिलिनिक समूह CH पाए जाते हैं। अम्लीय परमैंगनेट की उपस्थिति में यह अम्ल फार्मिक अम्ल, जल तथा कार्बन डाईआक्साइड बनाता है।



अब प्रश्न यह उठता है कि कौन से समूहों से कार्बन डाईआक्साइड और किस समूह से फार्मिक अम्ल बनते हैं। इस कार्य के लिए अन्त में स्थित दोनों कार्बाक्सिलिक समूहों के कार्बन को रेडियोकार्बन से अंकित करके इससे प्रदर्शित किया गया है। आक्सीकरण पूरा होने पर समस्त रेडियोएक्टिवता CO_2 में पाई जाती है। फार्मिक अम्ल में कोई भी रेडियोएक्टिवता नहीं पाई जाती। अतएव फार्मिक अस्ल किसी मीथाइलिनिक समूह से बनेगा क्योंकि इसी समूह के दो कार्बनों में रेडियोसक्रियता नहीं है। अतएव यह अभिक्रिया इस प्रकार होगी।



फ्रिडिल और क्राफ्ट अभिक्रिया का अध्ययन

अनार्त एल्यूमिनियम ट्राई क्लोराइड की उपस्थिति में बेन्जीन की अनेक रासायनिक अभिक्रियाएं होती हैं जिसमे बेन्जीन युक्त अनेक यौगिक प्राप्त होते हैं। उदाहरण के लिए निम्नलिखित अभिक्रिया लीजिए:

$$C_6H_6 + Cl\,CO\,CH_3 \xrightarrow{AlCl_3} C_6H_5\,COCH_3 + HCl$$

यह अभिक्रिया तीन प्रकार से सम्भव हो सकती है। यदि $AlCl_3$ के क्लोरीन को ^{36}Cl से अंकित कर दिया जाए तो इन सम्भावित अभिक्रियाओं को निम्नलिखित ढंग से प्रदर्शित कर सकते हैं:

$$C_6H_6 + Al^{36}Cl_3 \rightarrow C_6H_5Al^{36}Cl_2 + H^{36}Cl$$
$$C_6H_5Al^{36}Cl_2 + Cl\,CO\,CH_3 \rightarrow C_6H_5\,CO\,CH_3 + Al^{35}Cl_3$$

(1) यदि यह क्रिया विधि सत्य है तो एक तिहाई रेडियोधर्मिता हाइड्रोक्लोरिक अम्ल में चली जायेगी और दो तिहाई रेडियोधर्मिता एल्यूमिनियम ट्राई क्लोराइड के साथ रहेगी। इनमें आधे का सम्बन्ध आता है। परन्तु ऐसा नहीं पाया गया। अतएव इस प्रकार यह अभिक्रिया नहीं होगी।

(2) यदि उत्प्रेरक इस क्रिया में भाग न ले और केवल बेंजीन और एसीटाइल क्लोराइड आपस में अभिक्रिया करें तो समस्त रेडियोधर्मिता, $AlCl_3$ के साथ होगी और HCl रेडियोसक्रिय नहीं होगा। परन्तु HCl रेडियो सक्रिय होता है। अतएव यह धारणा गलत है।

(3) अब दूसरी सम्भावना यह है कि एसीटाइल क्लोराइड तथा बेन्जीन टूट कर आवेशित परमाणुओं में बदल जाते हैं।

$$CH_3COCl \rightarrow CH_3CO^+ + Cl^-$$
$$C_6H_6 \rightarrow C_6H_5^- + H^+$$

और $Al^{36}Cl_3 + Cl^-$ मिलकर $Al^{36}Cl_4$ बनाते हैं। अब

$$C_6H_5^- + CO\,CH_3^+ \rightarrow C_6H_5\,COCH_3$$ तथा

$$Al^{36}Cl_4 + H^+ \rightarrow Al^{36}Cl_3 + H^{*\,36}Cl$$

यदि यह क्रिया विधि ठीक है तो एक चौथाई रेडियोधर्मिता $H^{36}Cl$ के साथ तथा तीन चौथाई $Al^{36}Cl_3$ के साथ रहनी चाहिए अर्थात् इन दोनों रेडियोधर्मिताओं में 1/3 का अनपात होना चाहिए। वास्तव में, यही अनुपात प्राप्त होता है। अतएव इसी क्रिया विधि की पुष्टि होती है। यदि उत्क्रमणीय अभिक्रिया जैसे

$HAsO_2 + I_3^- + 2H_2O \rightleftharpoons H_3AsO_4 + 3I + 2H^+$ लीजिए

आर्सेनियस अम्ल आर्सेनिक अम्ल

इसमें वाम् भाग के अभिकर्मकों में पारस्परिक अभिक्रिया होती है और इसकी गति को k_f से प्रदर्शित करते हैं क्योंकि इस अभिक्रिया की दिशा आगे की ओर होती है। साथ ही साथ दाएं ओर के

अभिकर्मकों द्वारा रासायनिक अभिक्रिया की दिशा पीछे की ओर होती है इसे 'k_r'से प्रदर्शित किया जा सकता है। इस प्रकार विरुद्ध दिशाओं में होने वाली दो पारस्परिक अभिक्रियाएं एक साम्यावस्था को प्राप्त होती हैं जहां इनकी गति समान हो जाती है। इसे 'K'द्वारा व्यक्त किया जाता है। इसे साम्यावस्था स्थिरांक कहते हैं। अतएव $K = k_f / k_r$ होना चाहिए। वास्तव में K की गणना केवल साम्यावस्था प्राप्त होने पर ही हो सकती है किन्तु k_f & k_r का मूल्यांकन कभी भी किया जा सकता है। यहां आर्सेनियस तथा आर्सेनिक अम्लों की पारस्परिक अभिक्रियाओं में आयोडीन एक उत्प्रेरक का कार्य करता है। अतएव ^{76}As द्वारा आर्सेनियस अम्ल को अंकित करके क्रिया गति का मान ज्ञात किया जाता है। यदि k_r=0.057 लिटर^2 मोल$^{-2}$ मिनट$^{-1}$ हो तो $R = k_r [H_3AsO_4][H^+][I^-]$ k_r का मान साम्यावस्था पर न लेने पर इसका मान 0.071 होता है।

वायुमंडलीय रसायन में हाइड्राक्सिल रेडिकल(·OH radical) का योगदान

वायुमंडल में उपस्थित OH रैडिकल द्वारा CO को CO_2 में, SO_2 को H_2SO_4 में और NO_2 को HNO_3 अम्ल में परिवर्तित किया जाता है। अतएव यह पता लगाना आवश्यक हो गया है कि वायुमंडल में कितने हाइड्राक्सिल रैडिकल उपस्थित हैं।

$OH + CO \rightarrow CO_2 + H$ द्वारा लगभग नब्बे प्रतिशत $CO \rightarrow CO_2$ में बदल जाती है। अतः वेग व्यंजक द्वारा $\frac{d[CO_2]}{dt} = k[CO][OH]$ होगा और $k = 2.91 \times 10^{-13}\ cm^3 s^{-1}$, 760 टार वायु पर होगा। एक टेफलान के थैले के भीतर वायु में ^{14}CO को इसलिए मिलाया जाता है कि जिसमे पराबैंगनी के 280 से 320 नैनो मीटर में प्रकाश का न्यूनतम शोषण हो सके। क्योंकि वायुमंडल में उपस्थित ओजोन परमाणुउक्त ऊर्जा वाले पराबैंगनी क्षेत्र में हाइड्राक्सिल रेडिकल बनाते हैं। इस प्रकार के वायु के प्रतिदर्शों को लेकर CO_2 को बर्फ के रूप में जमा दिया जाता है। ऊर्ध्वपातन और फिर से जमाने के बाद इसमें से वह ^{14}CO जिसने अभिक्रिया में भाग नहीं लिया, निकाल दी जाती है और इसकी गणना की ज़ाती है। प्रारम्भिक सान्द्रता के समय को 0'से और कुछ समय उपरान्त प्राप्य सान्द्रता का 't'से प्रदर्शित करके निम्नलिखित सम्बन्ध प्राप्त होता है:

$$\frac{[^{14}CO_2]}{[^{14}CO]_t} = \frac{[^{14}CO_2]_0}{[^{14}CO]_0} + k\,[OH]t$$

इस विधि द्वारा यदि एक घन सेमी० वायु में अन्य गैसों के 3×10^{19} परमाणु हों तो इसमें 3×10^{5} हाइड्राक्सिल रेडिकल नापे जा सकते हैं।